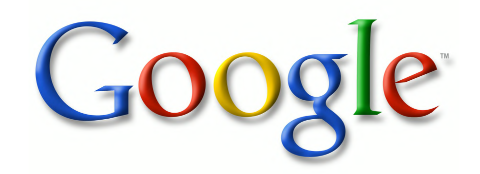


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

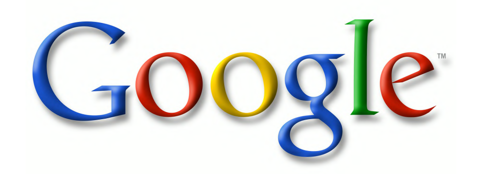
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

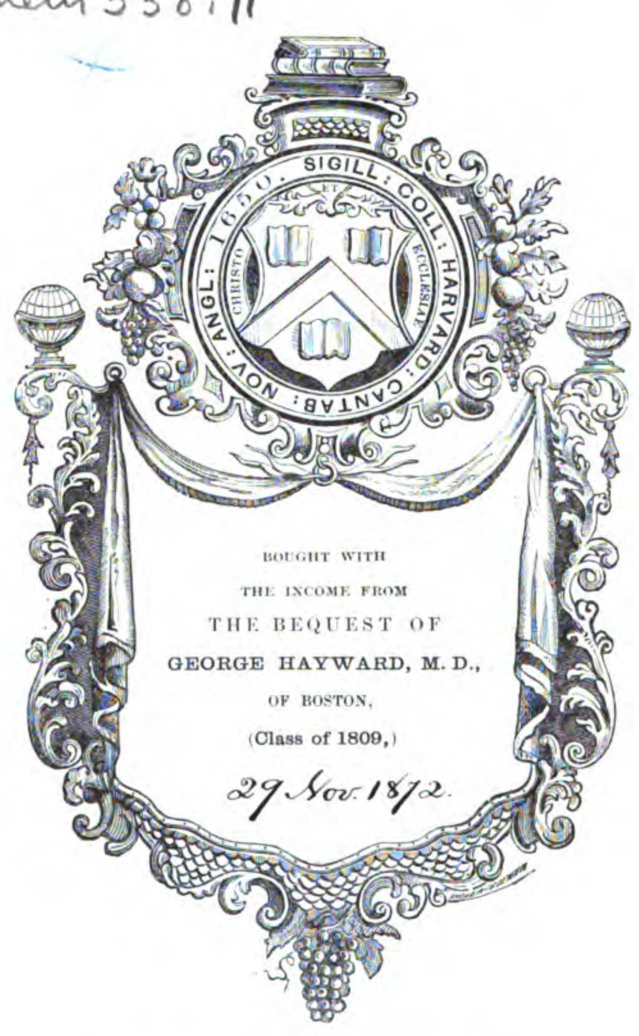
Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.



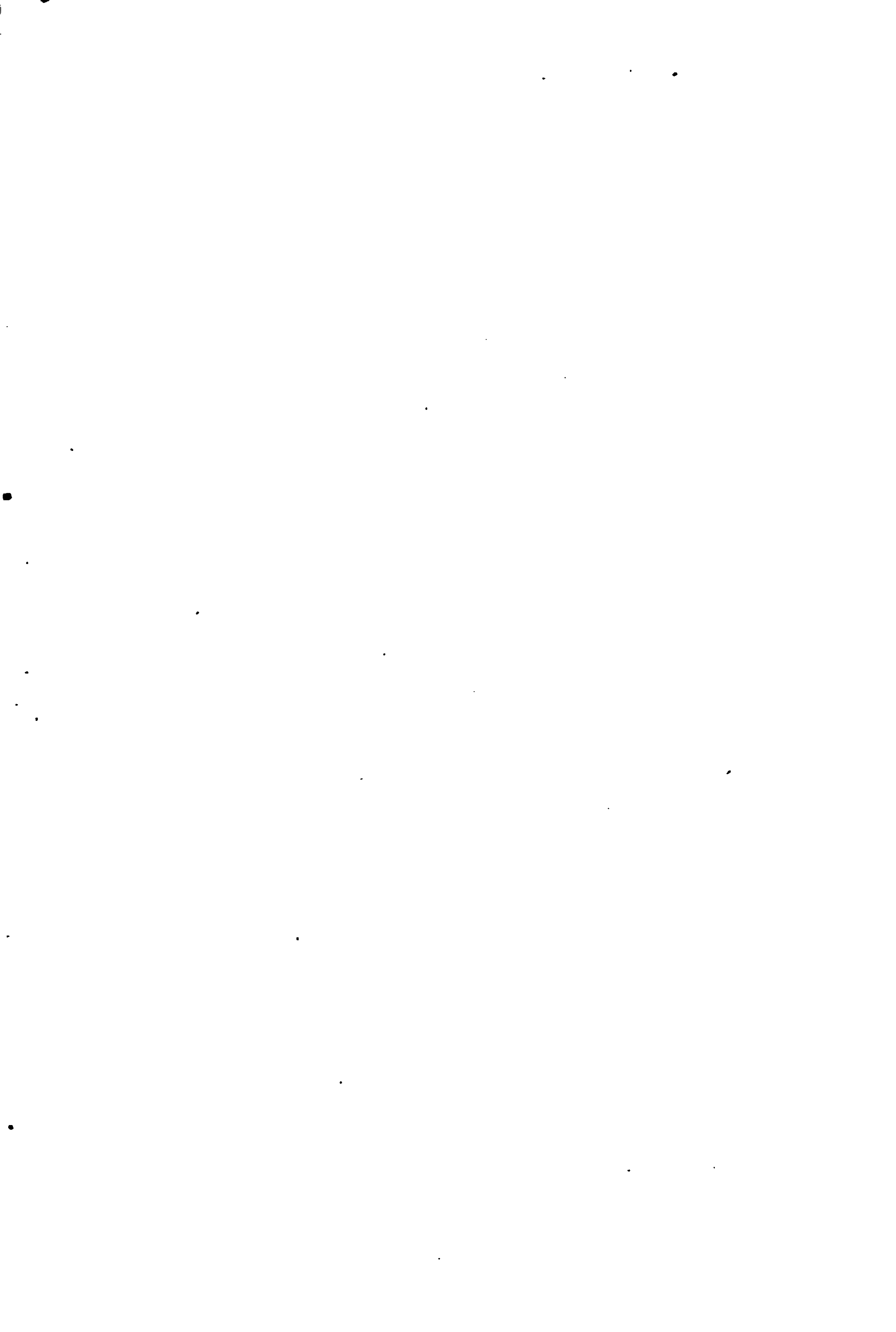
32½ 9

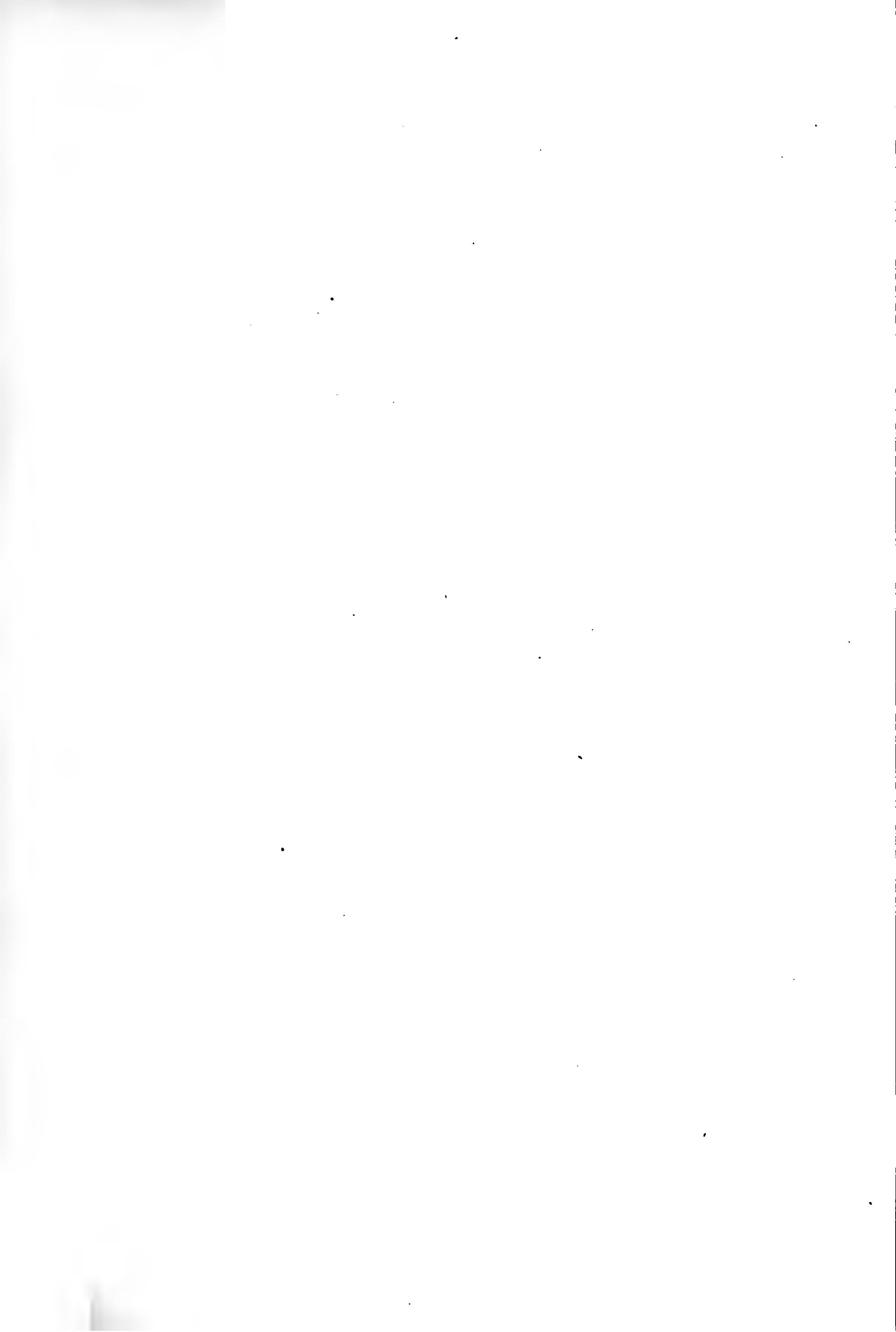
Chem 558.71



BOUGHT WITH
THE INCOME FROM
THE BEQUEST OF
GEORGE HAYWARD, M. D.,
OF BOSTON,
(Class of 1809,)
29 Nov. 1872.

SCIENCE CENTER LIBRARY





LEHRBUCH

DER

AGRIKULTURCHEMIE

IN

VIERZIG VORLESUNGEN.



LEHRBUCH

DER

AGRIKULTURCHEMIE

IN VIERZIG VORLESUNGEN

ZUM GEBRAUCH AN UNIVERSITÄTEN UND HÖHEREN LANDWIRTHSCHAFTLICHEN LEHRANSTALTEN SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

Dr. ADOLF MAYER,

PRIVATDOZENT DER AGRIKULTURCHEMIE AN DER UNIVERSITÄT HEIDELBERG.

ERSTER THEIL.

DIE ERNÄHRUNG DER GRÜNEN GEWÄCHSE.

MIT VIER HOLZSCHNITTEN UND DREI LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1871.

Chem 558.71

1872, Nov. 29.
Boott Fund.

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

Das vorliegende Buch sollte nach der Absicht des Verfassers eine Lücke ausfüllen, die sich zweifellos in unserer Litteratur befindet.

Trotz einer grossen Anzahl von umfangreichen, theilweise sehr verdienstlichen und erst in neuester Zeit verfassten Lehrbüchern der Agrikulturchemie, die zur Stunde vorliegen, fehlt es noch an einem solchen ganz und gar, welches *gleichzeitig* einen etwas strengeren wissenschaftlichen Charakter trüge, namentlich auch aus den neueren naturwissenschaftlichen Errungenschaften den möglichen Nutzen gezogen hätte, und in dem der richtige Ton und die methodische Behandlungsweise gefunden wäre, ohne welche ein Werk niemals zum *Lehrbuche* werden kann.

Diesen Mangel habe ich erst klar empfunden, als ich vor nun mehr als 3 Semestern an der hiesigen Universität meine Vorlesungen über Agrikulturchemie begann und mich in die Lage versetzt sah, meinen Zuhörern ein Werk zu empfehlen, das ihnen zum Nacharbeiten des Vorgetragenen förderlich sein könnte. Empfehlenswerthes fand sich da allerdings genug: für Hülfswissenschaften namentlich das ausgezeichnete Sachs'sche *Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen*, von eigentlichen Compendien der Agrikulturchemie, die so anregend wirkenden Schriften Liebig's, das Knop'sche Lehrbuch mit seiner gediegenen Behandlungsweise, die Heiden'sche *Düngerlehre* mit ihren so vollständigen Litteraturangaben, endlich die populäre aber klar gehaltene praktische Düngerlehre E. Wolf's und einige andere. — Aber keines von allen diesen Werken, und auch nicht mehrere von ihnen zusammen, konnten Das geben, was zu geben ich für wünschenswerth halten musste, und ich glaube, man wird Dies verstehen, wenn man sich über die Erfordernisse eines Lehrbuches sowohl, als auch darüber klar geworden ist, dass, wie ich zu zeigen versuchen werde, die neuesten Resultate der mit Riesenschritten fortschreitenden naturwissenschaftlichen Forschung noch sehr spärliche Anwendung in den physiologischen Wissenschaften und namentlich auf die Theorie der Pflanzenernährung gefunden haben, wohl aber deren fähig sind.

Ich muss mich hier in Hinsicht dieser beiden Punkte auf einige Andeutungen beschränken und verweise für ihre Begründung kurzweg auf den Inhalt des vorliegenden Buches, da hier der klarsten Darlegung jener Mängel doch kein Werth beigemessen werden könnte, wenn es mir dort nicht gelungen ist, sie theilweise zu beseitigen.

Bezüglich des ersten Punktes gestatte man mir wieder einmal die Frage aufzuwerfen, über die man sich häufig allzuwenig Rechenschaft ablegt was,

denn eigentlich ein Lehrbuch leisten soll? — Es soll doch wohl mehr sein als eine noch so vollständige Sammlung von Resultaten der wissenschaftlichen Forschung. Diese sind doch nur das *Lehrmaterial*, und nicht in der Kenntniss dieses liegt die geistige Durchbildung, zu welcher das Studium irgend einer Wissenschaft verhilft, und welche bleibt und uns zu urtheilen befähigt, auch wenn das Wissen, welches an den Fingern hergezählt werden kann, längst wieder verschwunden ist. Jene entspringt vielmehr vielleicht ausschliesslich aus der Verstandesarbeit, welche zur Bewältigung jenes Materials nothwendig ist, und ist also begründet in den Methoden des Denkens, die dabei Anwendung gefunden haben, und durch welche der Geist des Lernenden geübt wird.

Dies darf natürlich und wird auch nicht so verstanden werden, als sei die weitere Schärfung der Denk- und Urtheilskraft der einzige Zweck eines jeden Spezialwerks, der behandelte Stoff nur das Mittel zu demselben. Gewiss nicht. — Eine bestimmte Summe von Kenntnissen muss natürlich unter allen Umständen in einem solchen Werke gegeben werden, damit dasselbe nicht ganz und gar den Charakter des Lehrbuches einer bestimmten Disciplin einbüsst. Allein Dies zu betonen ist unnöthig, da man nie dagegen verstossen hat, während jener andere Gesichtspunkt oft ausser Augen gelassen worden ist.

Es ist wohl keinem Zweifel unterworfen, dass es für die Zwecke eines Lehrbuches weit schädlicher ist, wenn man gegen den eben hervorgehobenen Grundsatz sündigt, als wenn das mitgetheilte Material ein lückenhaftes ist, — dass es schädlicher für den Lernenden ist, wenn er nach der gegebenen Darstellung im Unklaren bleiben muss, auf welchem Wege der Forschung ein gegebenes Resultat gewonnen worden ist, als wenn er eine Anzahl dieser Resultate überhaupt nicht kennt; denn von seiner Auffassung ist es abhängig, ob bei ihm ein solches Resultat, und unter welchen Umständen es wieder durch wissenschaftliche Neuerungen über den Haufen geworfen werden kann, oder ob es so fest steht, dass umgekehrt die neuen Ergebnisse an ihm gemessem werden können. Wird dagegen der Lernende durch eine unmethodische Behandlung des Stoffs dazu verleitet, alle gegebenen Sätze als einander gleichberechtigt wie die Dogmen eines Katechismus gedankenlos seinem Gedächtnisse einzuprägen, so wird offenbar der Zweck des Lehrbuches grossentheils verfehlt; denn eine jede kleine Neuerung wird in seinen Augen das Fundament des ganzen Lehrgebäudes erschüttern, wenn er nicht vorzieht, auf die Autorität des Buches schwörend, gegen jeden weiteren Zuwachs der Erkenntniss Front zu machen.

Dies in meinen Augen unerlässliche Erforderniss eines wirklichen Lehrbuches, wodurch es sich gerade hauptsächlich von den sogenannten Handbüchern unterscheidet, welche für Leute von schon erlangter wissenschaftlicher Durchbildung, denen gegenüber jene Besorgnisse ungerechtfertigt erscheinen, geschrieben werden, dagegen auf eine grosse Vollständigkeit Anspruch machen, und für die eine mehr encyklopädische Behandlungsweise passend erscheint, macht es zu einer verhältnissmässig schwierigen Aufgabe, ein solches zu schreiben, wobei in Betreff unseres Gegenstandes ganz besonders zu berücksichtigen ist, dass die einseitige Anwendung der induktiven Methode in den Naturwissenschaften, welche seit der Auflehnung dieser gegen die metaphysischen Irrthümer unserer Naturphilosophen mit pedantischer Ausschliesslichkeit Sitte geworden ist, und wogegen eine heilsame Reaction erst anfängt, Geltung zu gewinnen, einen Ueberblick über den Ursprung unserer Erkenntniss und die Competenz unserer Forschungsmethoden ausserordentlich erschwert, ganz abgesehen von dem einseitigen Bildungsgang, den speziell die Agrikulturchemiker bisher zu gehen ge-

wohnt waren, und der zur Gewinnung eines freieren Blickes ein möglichst ungünstiger gewesen ist.

Was dann jenen anderen Punkt betrifft, so glaube ich, dass die Unterlassung der umsichtigen Ausnutzung neuerer naturwissenschaftlicher Errungenschaften für die Agrikulturchemie, die bei näherem Hinblick ganz auffällig erscheint, hinsichtlich ihrer Ursache gleichfalls auf die zuletzt namhaft gemachte Thatsache zurückgeführt werden kann. — Ich hoffe im Texte unter Anderem nachzuweisen, dass in unserer Wissenschaft eine Reihe von Theoremen Verbreitung und Glauben gefunden haben, die z. B. geradezu dem Gesetze der Erhaltung der Kraft widersprechen, d. h. also, dass dieses Gesetz bis jetzt keine durchgreifende Anwendung in den physiologischen Problemen der Agrikulturchemie gefunden hat, obgleich dasselbe für sie, wie für eine jede vorwiegend naturwissenschaftliche Disciplin von der allertiefgreifendsten Bedeutung ist. In gleicher Weise verdient wohl die neuere Entwicklung der organischen Chemie mit der Einsicht, die sie verbreitet in die Constitution der chemischen Verbindungen und die wahrscheinliche Umlagerung ihrer verschiedenwertigen Atome (worauf jüngst A. Baeyer hingewiesen hat) in den physiologischen Wissenschaften eine erhöhte Beachtung.

Neben der Berücksichtigung dieser und anderer naturwissenschaftlichen Ergebnisse ist es aber für eine Disciplin, welche wie die Agrikulturchemie überall mit der gewerblichen Praxis in Berührung kommt, ganz unerlässlich, sich auch des Studiums der wichtigsten Grundsätze der Wirthschaftslehre etwas mehr zu befleissigen. Die Schlussbetrachtungen des zweiten Theiles des vorliegenden Buches werden z. B. zu zeigen versuchen, dass die Düngerlehre mit Beachtung der Gesetze jener Grenzwissenschaft ein ganz anderes Aussehen gewinnt, als wenn man die dort zu erledigenden Fragen von dem einseitigen naturwissenschaftlichen Standpunkte aus behandelt.

Ich muss mich wie gesagt hier mit diesen wenigen Andeutungen begnügen. Vielleicht sind dieselben aber ausreichend, um bei einigem Nachdenken jene tiefe Lücke empfinden zu lassen, welche unsere so reichhaltige Litteratur noch offen lässt, ohne dass damit ein Schatten des Tadels auf jene andern Werke, die ich theilweise sehr hoch stelle, und die mir fast sammt und sonders von grossem Nutzen gewesen sind, geworfen werden soll. Eine ganz andere Frage, als die nach dem Bedürfniss eines solchen Werkes, wie ich es zu schreiben beabsichtigte, ist freilich jene, ob meine Arbeit jene Lücke auch nur theilweise auszufüllen im Stande ist? — In der That, wenn ich das nun abgeschlossene Buch mit dem vorgezeichneten, für eine unerprobte Kraft so kühnen Plane zu demselben vergleiche, so erscheint mir dasselbe in mehr als einer Beziehung unfertig und lückenhaft, und ich darf mir nicht verhehlen, dass das „Vollbringen“ weit hinter dem „Wollen“ zurückgeblieben ist, und in der That nur das Bewusstsein von der verhältnissmässigen Schwierigkeit der gewählten Aufgabe, von der Mangelhaftigkeit alles menschlichen Thuns und dann vor Allem die Hoffnung auf eine offene und rein sachliche Kritik von Seiten meiner Fachgenossen, welche mir möglich machen wird, in Zukunft die Arbeit zu ergänzen, hat die Besorgniss einigermassen gemildert, mit welcher ich das Buch der Öffentlichkeit übergebe. — Ich brauche desshalb nicht hinzuzusetzen, dass ich für Einwürfe, Berichtigungen und Zusätze aller Art mich dankbar erweisen werde, wie ich denselben vielmehr mit Bestimmtheit entgegensehe.

Vermuthlich wäre es noch Manchem gegenüber nothwendig, die für das Buch gewählte äussere Form zu rechtfertigen, um so mehr als erst kürzlich

um derselben willen ein verdienstvolles chemisches Werk Angriffe hat erfahren müssen, und dieselbe überhaupt in Deutschland eine ungewohnte ist. Ich kann zur Rechtfertigung dieser „Vorlesungsform“ Nichts Anderes anführen, als dass ich dieselbe gerade für den vorliegenden Zweck für sehr angemessen erachtet habe, da sie eine freiere und darum anziehendere Redeweise erlaubt und, wo es sich um Vorführung von Versuchen handelt, die Phantasie in angenehmer Weise erregt, — weil sie weiter für den Lehrer, der sich des Buches bedienen sollte, eine durchaus naturgemässe Stoffeintheilung bietet und dem Lesenden bequeme Ruhepunkte gestattet. — Indessen bin ich gerne bereit, zuzugeben, dass Dies Geschmackssache ist. — Die directe Anrede, die am Störendsten bei der Vorlesungsform gefunden wird, ist durchaus vermieden worden, und so spreche ich die entschiedene Hoffnung aus, dass man sich mit dieser äusseren Behandlungsweise befreunden wird.

Einer ferneren Begründung bedarf vielleicht die Wahl der sogenannten neuen Atomgewichte an den wenig Stellen, wo ich mich überhaupt chemischer Formeln bedient habe. Ich bin aber bezüglich dieses Punktes nach reiflicher Ueberlegung (und erst bei der zweiten Ueberarbeitung) schliesslich zu dem Resultate gekommen, dass in Anbetracht dessen, dass die jetzt heranwachsende wissenschaftliche Jugend in den chemischen Vorlesungen und den jetzt massgebenden Lehrbüchern dieses Faches kaum je noch eine „alte“ Formel zu sehen bekommt, nun ungefähr die Zeit gekommen ist, wo auch die physiologischen Wissenschaften ihren in diesen Dingen allzu conservativen Sinn ändern und aufhören sollten, dem Studirenden zuzumuthen, in späteren Jahren, wenn er anfängt, sich mit den angewandten Wissenschaften zu befassen, zu einer ihm fremden und aus guten Gründen verlassenen Schreibweise zurückzukehren. Uebrigens habe ich an mehreren Orten, wo mir Dies tauglich erschien, „alte“ Formeln (dann aber immer mit dem ausdrücklichen Bemerken als solche) neben die neuen gesetzt.

Die Bearbeitung der Ernährung der höheren Thiere und der Gährungsorganismen — eines Gegenstandes, den ich bei der Eintheilung meines Vorlesungsstoffes der Ernährung der grünen Gewächse (aus in der Einleitung gegebenen Gründen) gegenüberzustellen pflege, gleichzeitig mit der Bearbeitung dieses letzteren Stoffes vorzunehmen, habe ich mich desshalb nicht entschliessen können, weil wir über Thierernährung ausgezeichnete und dem Bedürfniss ziemlich vollständig entsprechende Werke (ich erinnere z. B. an das Kühn'sche: „Die zweckmässigste Ernährung des Rindviehs etc.“) besitzen, weil andererseits die Theorie der Ernährung der Gährungsorganismen noch so in der frühesten Kindheit sich befindet, dass die Ausarbeitung eines Lehrbuches auch für diesen Gegenstand vorläufig noch als unzeitgemäss erscheint.

Ich erfülle schliesslich eine angenehme Pflicht, wenn ich meinen Freunden, Prof. Dr. C. W. C. Fuchs, Dr. A. Horstmann und besonders Dr. N. J. C. Müller auch noch öffentlich für ihre Bereitwilligkeit danke, mit der sie mich mit ihren reichen Kenntnissen auf dem Gebiete der von ihnen bebauten Disciplinen in meiner Aufgabe unterstützt haben. Ich habe dabei so recht den reichen Segen empfunden, den für eine jede wissenschaftliche Leistung die Gemeinschaft einer *Universitas litterarum* zu gewähren vermag.

Heidelberg, den 10. Juni 1870.

Adolf Mayer.

Inhaltsverzeichniss

des ersten Theils.

Erster Abschnitt.

Die stickstofffreien organischen Bestandtheile der Pflanze.

Dreizehnte Vorlesung.

Dritter Abschnitt.

Die unverbrennlichen Bestandtheile der Pflanze.

Vierzehnte Vorlesung.

Fünfzehnte Vorlesung.

Sechszehnte Vorlesung.

Siebzehnte Vorlesung.

Vierter Abschnitt.

Die Gesetze der Stoffaufnahme.

Achtzehnte Vorlesung.

Neunzehnte Vorlesung.

Druckfehler und Verbesserungen.

Seite 1. Zeile 8 von unten: Lies dessen statt deren.
„ 23. 8 von oben: Lies Schwarzföhren statt Lärchen.
23. 10 von unten (Anmerkung): Lies Fauconpret statt Faucoupret.
„ 173. 6 „ „ (Anmerkung): Lies O_2 statt H_2.

Den Professoren am Königl. preuss. landwirthschaftlichen Institut

der Universität Halle

den Herren

Dr. Julius Kühn

Dr. Friedrich Stohmann

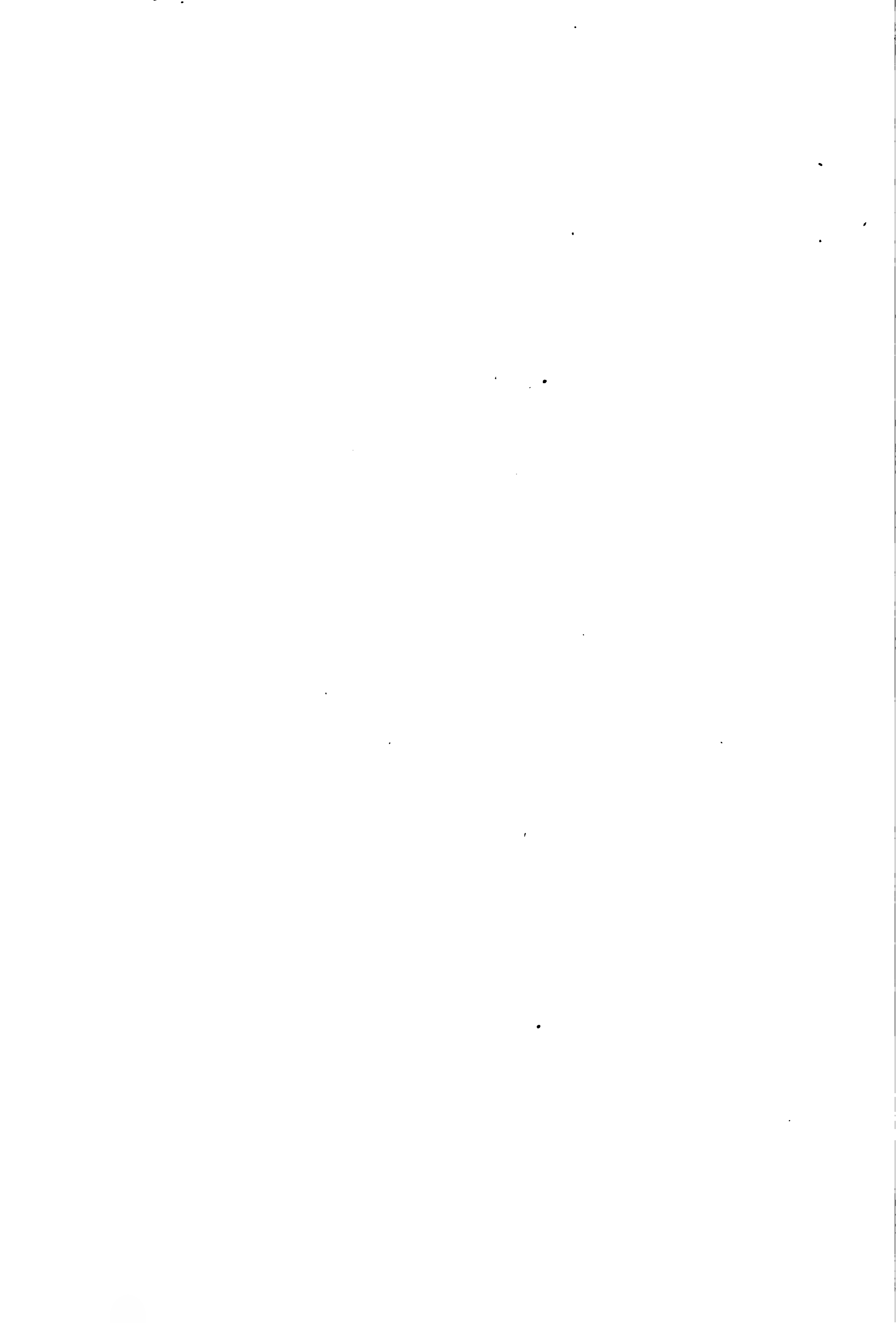
Dr. Gustav Schmoller

in Dankbarkeit und Verehrung

zugeeignet

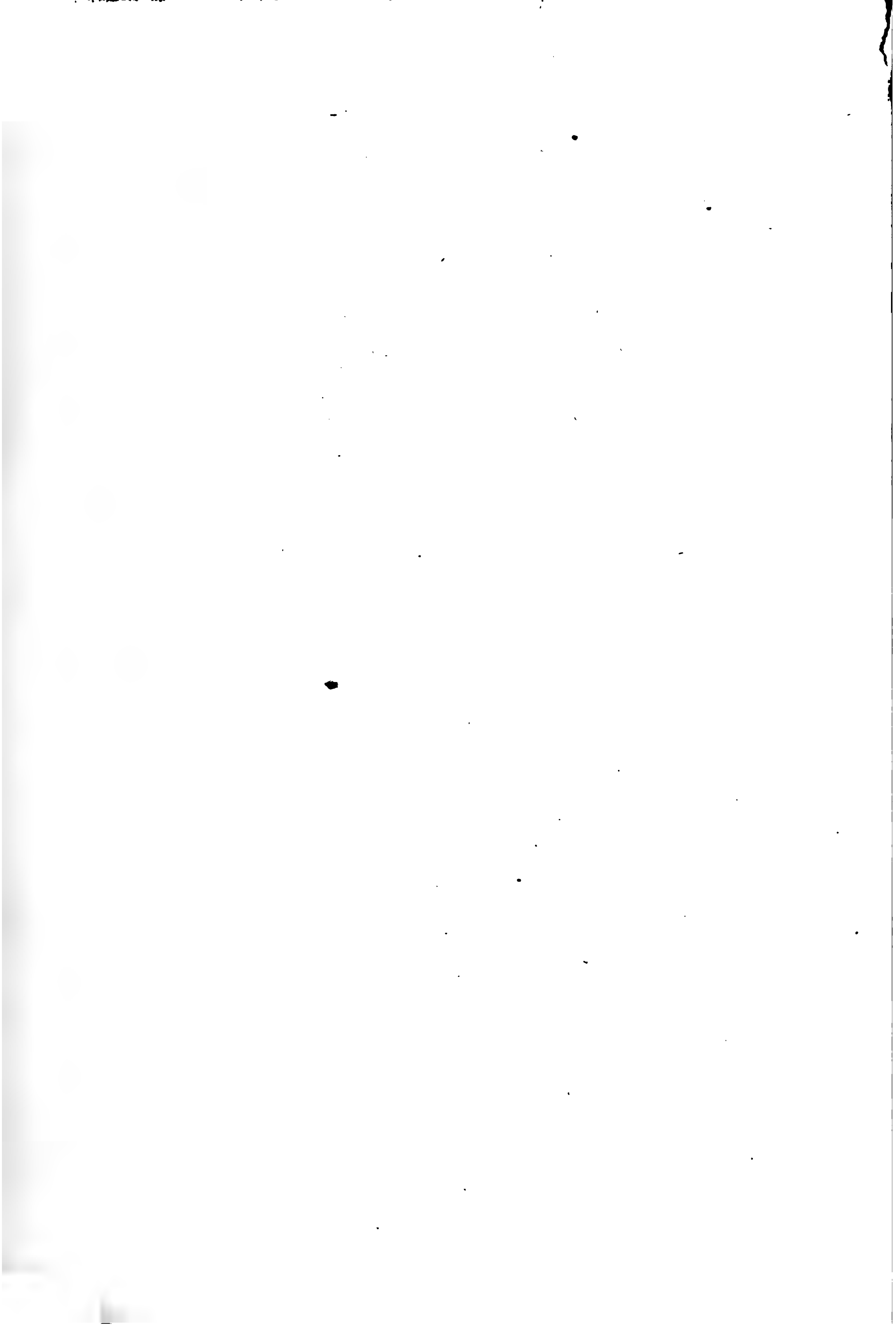
vom

Verfasser.



Erster Abschnitt.

Die stickstofffreien organischen Bestandtheile der Pflanzen.



Erste Vorlesung.

Einleitung. — Die Produktion von organischer Substanz.

Man ist gewohnt, die Vorträge über irgend eine Wissenschaft mit der Definition dieser letztern zu beginnen, und so bin auch ich wohl verpflichtet, ehe auf die Gegenstände, die hier abgehandelt werden sollen, näher eingegangen wird, anzugeben, in welchem Zusammenhange dieselben mit einander stehen, welche wissenschaftliche Disciplin sie in ihrer Gesammtheit ausmachen. Es scheint eine solche präcisere Bezeichnung des hier Abzuhandelnden geradezu nothwendig, wenn man bedenkt, in welch' verschiedener Weise der Name der Wissenschaft, der auf den Titel dieses Buches gesetzt worden ist, schon angewendet und verstanden worden ist.

Häufig hat man sich darauf beschränkt, unter *Agrikulturchemie* die Lehre von den Naturgesetzen des *Feldbaus,* also nur dieses einen Elementes des praktischen landwirthschaftlichen Betriebs zu verstehen. Ich pflege nun zwar in dem Gebrauch dieses Worts, wie dies auch sonst vielfach geschieht, etwas weiter zu gehen, und unter *Agrikulturchemie,* ohne weitere Rücksicht auf die ursprüngliche Bedeutung des Worts, *die Wissenschaft aller*) der physischen Erscheinungen, die für das Gedeihen der landwirthschaftlich wichtigen Organismen in Betracht kommen,* zu verstehen, d. h. also auch die naturwissenschaftliche Grundlage der Viehzucht, des Brennereibetriebs etc. unter jener Disciplin mit inbegriffen zu betrachten, wenn auch in *diesen* Vorträgen hier zunächst nur von jenen ersteren Erscheinungen gehandelt werden soll.

Nach dieser näheren Bezeichnung des Gegenstandes, mit dem sich die *Agrikulturchemie* beschäftigt, versteht es sich von selbst, dass es — obgleich man dies von vorneherein wohl anzunehmen berechtigt wäre — nicht etwa die *Chemie allein* ist, die aus der Zahl der Naturwissenschaften zur Erklärung der für die Landwirthschaft wichtigen Ernährungserscheinungen herbeigezogen wird. Man ist vielmehr dazu berechtigt, die wissenschaftliche Bearbeitung von landwirthschaftlichen Fragen in der Agrikulturchemie mittelst ganz anderer naturwissenschaftlicher Disciplinen, mögen sie nun Physik, Mineralogie, Pflanzenphysiologie oder Thierphysiologie heissen, vorzunehmen, ohne dass man damit das Gebiet jener Wissenschaft verlässt.

Die complexen physischen Erscheinungen auf dem Gebiet der Landwirthschaft lassen vielfach gar keine pedantisch gesonderte Trennung der einzelnen Hülfswissenschaften zu, und wer mit dem Vorsatz, nur eine einzige dieser zu einem Erklärungsversuch zu benutzen, an die Aufgaben, wie sie von der praktischen Landwirthschaft

*) Eine kleine Einschränkung ist hier freilich nöthig, wie aus dem Folgenden sogleich hervorgeht.

gestellt werden, herantreten wollte, der würde in den meisten Fällen ganz und gar Nichts auszurichten im Stande sein. Wir werden sogar häufig im Laufe unserer Darstellung uns von dem Schaden überzeugen, den eine einseitige vom Standpunkt einer einzigen Hülfswissenschaft ausgehende Behandlung der betreffenden Fragen im Gefolge gehabt hat, und dies geht sogar zuweilen soweit, dass zur Erledigung mancher Gegenstände Uebergriffe in der Chemie sehr ferne stehende Disciplinen (z. B. einzelne Zweige der Wirthschaftslehre) ganz unerlässlich sind, — Uebergriffe, die von dem engen Standpunkt einer völlig durchgeführten Kastenordnung der Wissenschaften und ohne jene praktische Rücksichten als unverzeihlich erscheinen müssten.

Diese der Natur der Dinge entsprechende Erweiterung des Arbeitsgebiets der *Agrikulturchemie* im Laufe ihrer Entwicklung ist derselben denn auch ziemlich allgemein zugestanden worden, und so ist der Name der Wissenschaft, mit der wir uns in diesen Vorträgen beschäftigen werden, mehr von historischer Bedeutung, als dass er den Stand, das Forschungsgebiet und die Forschungsmethode derselben noch heute in präciser Weise bezeichnete; er zeigt an, dass es die *Chemie* von allen Hülfswissenschaften *zuerst* gewesen ist, die sich eine berathende Stimme in Bezug auf die Massregeln der Landwirthschaft erworben hat. Man könnte strenggenommen ebensogut reden von einer *Agrikulturphysik*, von einer *Mineralogie*, einer *Pflanzenphysiologie im Dienste der Agrikultur etc.* — Den Inbegriff aller dieser verschiedenartigen Wissenszweige, soweit sie zu jenem Zwecke ausgebeutet werden, nenne ich nach dem Vorgang Anderer der Einfachheit wegen noch immer *Agrikulturchemie*, da es wohl schwierig sein möchte, eine Bezeichnung ausfindig zu machen, welche die Gesammtheit jener nun einmal aus praktischen Rücksichten nicht zu trennenden Disciplinen erschöpfend ausdrückte.

Doch darf hier nicht verschwiegen bleiben — und Dasselbe ergibt sich auch bei näherer Betrachtung aus dem Vorhergesagten — dass die Agrikulturchemie nicht sämmtliche naturwissenschaftliche Hülfswissenschaften der Landwirthschaftslehre in sich einschliesst. Ich erinnere an die landwirthschaftliche Maschinenkunde, an die verschiedenen Zweige der Baukunde und namentlich an die Züchtungswissenschaften, an die Lehre von gewissen Thier- und Pflanzenkrankheiten und dergl., die stets gesondert von unserer Wissenschaft bearbeitet worden sind und auch fernerhin werden bearbeitet werden.*) Allein aus diesem Verhalten, deren Sinn leicht zu verstehen ist, geht hervor, dass eine Scheidung der Hülfsdisciplinen in verschiedene Fächer, die bis jetzt gar keine gemeinschaftlichen Gesichtspunkte mit einander haben, aus praktischen Rücksichten vorgenommen worden ist; und eines dieser Fächer, in denen die Chemie zuerst eine Rolle gespielt hat und noch immer die Hauptrolle spielt, hat so passender Weise den Namen Agrikulturchemie erhalten und trägt ihn nach manchen vorgenommenen Erweiterungen bis auf den heutigen Tag.

Es braucht nach dem Gesagten nicht mehr ausgesprochen zu werden, dass die

*) Die ersteren physischen Hülfswissenschaften haben es überhaupt nicht mehr mit Organismen zu thun, woraus der Sinn ihrer getrennten Behandlung leicht erhellt, die anderen bewegen sich auf dem Gebiete der Morphologie, wo lediglich die Erfahrung entscheidet und von rationellen Erklärungen im Sinne der modernen Physiologie noch wenig die Rede ist, so dass auch hier die Abtrennung völlig zweckdienlich erscheint.

Agrikulturchemie zu den *angewandten* und nicht zu den sogenannten *reinen* Wissenschaften gehört. Allein ich möchte hier noch den Unterschied, der zwischen einer reinen und einer angewandten Wissenschaft besteht, um den Sinn dieser Unterscheidung verständlich zu machen, scharf hervorheben. Der Unterschied, der hinsichtlich des Gegenstandes und der Methoden zwischen beiden Klassen von Wissenschaften besteht, lässt sich vielleicht am zutreffendsten dadurch charakterisiren, dass man sagt, bei den reinen Wissenschaften sei das Forschungsgebiet ein unbegrenztes, die Forschungsmittel aber in einem gewissen Sinne begrenzt, bei den angewandten Wissenschaften sei gerade das Umgekehrte zu bemerken.

Chemie und Physik sind „*reine*" physische Wissenschaften. Eine jede physische Erscheinung, sie mag eines beliebigen Ursprungs in Bezug auf Ort, Zeit, Materie und Kraft sein, kann Gegenstand dieser Wissenschaften werden. Hier ist keine Schranke. — Aber eine und dieselbe Erscheinung wird von beiden Wissenschaften *in verschiedener Richtung* ausgebeutet. Die Chemie frägt nach der Ursache der stofflichen Verschiedenheit, die Physik nach der Ursache der Kraftäusserungen; und gerade daraus geht die *Beschränkung der Forschungsmethoden*, mittelst deren an einen und denselben Gegenstand verschiedene Fragen gerichtet werden, in dem erläuterten Sinne hervor.

Anders bei den „*angewandten*" Wissenschaften. Hier ist das Forschungsgebiet ein durchaus enge begrenztes. Der Geologe, der sich die Erforschung eines *realen Gegenstandes*, der Entstehung und Umformung unserer Erde zur Aufgabe gemacht hat, wirft ein gefundenes Mineral, sobald er ein solches als ein Kunstprodukt, also in seiner jetzigen Beschaffenheit hervorgegangen aus menschlicher Thätigkeit, z. B. als einen Ziegelstein erkannt hat, sofort weg. Dasselbe hat sein Interesse völlig verloren, weil es natürlich nicht im Stande sein kann, ihm zu Erreichung seines ganz *bestimmten*, also auch begrenzten Zweckes als Aufschluss gebendes Moment zu dienen. Genau so verweist der Meteorologe, der die Vorgänge in der Atmosphäre zu erforschen unternommen, den Schwefelregen, den er in dunkleren Jahrhunderten und vor der Erkenntniss, dass derselbe Nichts Anderes sei, als der Blüthenstaub irgend einer Kiefernart, sorgfältig in seinen Annalen verzeichnete, nach dieser Erkenntniss ganz aus demselben Grunde in's Gebiet der Botanik.

Dagegen wird dem Geologen, dem Meteorologen (und Jedem, der eine derartige Wissenschaft betreibt) völlig gleichgültig sein, ob er, um Erklärungen zu geben oder Theorien aufzustellen, chemische, physikalische oder sonst irgend welche Thatsachen zu Hülfe nehmen muss. Beide suchen die Erklärung irgend welcher *realer Fakta*, mit *allen Mitteln*, die ihnen zu Gebote stehen, also mit *unbeschränkten Forschungsmitteln* zu bewerkstelligen.

Dieses Verhältniss bleibt wesentlich dasselbe, ob das Forschungsgebiet einer angewandten Wissenschaft mehr durch einen *praktischen* Zweck bestimmt wird, oder ob diese mehr dem reinen Trieb nach Erkenntniss dient. In seltenen Fällen ist übrigens hier eine scharfe Grenze zu ziehen, und die meisten Wissenschaften, die Anfangs nur die Erkenntniss als geistigen Genuss im Auge hatten, sind später der Praxis in hohem Grade nützlich gewesen, nützlicher sogar in der Regel, als wenn man den praktischen Zweck direkt verfolgte.

Der eben präcisirte leichtfassliche Unterschied zwischen reinen und angewandten

Wissenschaften geht eigentlich schon aus dem Satze hervor, dass die reinen Wissenschaften die möglichst letzten Ursachen aller Erscheinungen aufsuchen, die angewandten sich damit begnügen, complicirtere Erscheinungen aus einem (der Analogie der von ihm umfassten Vorgänge wegen) abgeschlossenen Gebiete auf elementarere, von jenen reinen Wissenschaften schon erklärte Erscheinungen zurückzuführen.

Die *Agrikulturchemie* reiht sich nun jener grossen Anzahl von angewandten Wissenschaften direkt an; sie hat ein *beschränktes Forschungsgebiet,* das einer gewissen Reihe von physischen Erscheinungen, die in der praktischen Landwirthschaft ausgebeutet werden. Die Forschungsmittel dagegen, mit denen unsere Wissenschaft diese Erscheinungen bearbeitet, sind unbeschränkt. Dieselbe frägt Nichts darnach, ob sie heute mit der Lehre von den Kapillareigenschaften der porösen Ackererde das Gebiet der Physik betritt, oder ob sie morgen bei der Behandlung der Entstehung dieser Ackererde mit geologischen Thatsachen operiren muss. Es ist derselben ebenso völlig gleichgültig, ob die Erklärung von irgend welchen landwirthschaftlich wichtigen Erscheinungen mit Hülfe von meteorologischen und klimatologischen Vorgängen versucht wird, oder ob eine solche Erklärung auf pflanzenphysiologischen Thatsachen basirt. *Das einzige Endziel* derselben ist eben die *Erklärung* der vorhandenen realen Vorkommnisse, und sie wendet zu demselben eben alle Mittel an, die ihr dazu tauglich erscheinen.

Es könnte aus dem Ebengesagten leicht den Anschein gewinnen, als ob die Agrikulturchemie Nichts weiter sei, als die Technologie des landwirthschaftlichen Gewerbes, eine blosse Handlangerin der Praxis, völlig unselbstständig und stets abhängig von der technischen Bedeutung, die ihr den Namen gegeben hat. — Dies ist jedoch keineswegs der Fall. Auch die Agrikulturchemie hat eine von praktischen Zwecken ziemlich unabhängige Entwickelung gehabt und arbeitet vielfach rücksichtslos und unbekümmert um die Praxis der Landwirthschaft; und gerade diese Selbstständigkeit, die unsere Wissenschaft bisher bewiesen hat, ist für jene von besonderem Nutzen gewesen, wie denn überhaupt, nach einer schon vorhin angedeuteten Erfahrung, die selbstständigere, rücksichtslosere und theoretischere Behandlungsweise eines Gegenstandes ganz allgemein einen zwar späteren, aber auch um so tiefer eingreifenden Nutzen *) für das praktische Leben mit sich gebracht hat. Insofern würde die Agrikulturchemie weit mehr als die chemische Technologie den Namen einer theoretischen Wissenschaft verdienen.

Das muss allerdings ohne jede Widerrede zugegeben werden, dass alle theoretischen Arbeiten unserer Wissenschaft, ebensogut als dem Bereich einer andern Disciplin angehörig betrachtet werden können, allein häufig Gebieten dieser Disciplinen angehörig, die von ihren Mutterwissenschaften etwas stiefmütterlich

*) Ich möchte hier nur an den weit höheren Nutzen erinnern, den die reine, besonders die organische Chemie für die Farbentechnik gehabt hat, gegenüber der chemischen Technologie der Färberei, obgleich diese letztere sich einen solchen Nutzen geradezu als Endzweck ihrer Forschungen gesteckt hat. Man kann sagen, dass alle grossen reformatorischen Entdeckungen durch eine möglichst theoretische Behandlung d. h. durch „Studiren" und nicht durch „Probiren" gemacht worden sind, während die landläufige Redensart, die das Umgekehrte aussagt, für untergeordnete Verbesserungen jedenfalls richtig ist.

behandelt worden sind und denen erst durch ihre praktisch landwirthschaftliche Bedeutung Interesse abgewonnen worden ist. Ein ausgezeichnetes Beispiel in dieser Richtung ist die feststehende Thatsache, dass die ganze Pflanzenernährungslehre in den letzten 30 Jahren beinahe ausschliesslich von der Agrikulturchemie bearbeitet und von der Pflanzenphysiologie ganz und gar vernachlässigt worden ist. Man hat in dieser letzteren Disciplin, die nur theoretischen Zwecken dient, es für zweckmässig erachtet, erst andere von ihrem Standpunkte aus wichtigere und dankbarere Gebiete von mehr physikalischer Natur in Angriff zu nehmen; da trat das praktische Bedürfniss der Landwirthschaft hinzu, die Nährstoffe der Pflanzen, die sie kultivirte, zu kennen, und siehe da, ein bis dahin nebenliegengelassener Gegenstand fand plötzlich von Seiten der Agrikulturchemie Bearbeitung. Ganz Aehnliches, wenn auch nicht in dieser Ausdehnung, liesse sich von der Thierernährungslehre und manchen andern von ihrer Mutterwissenschaft vernachlässigten Gebieten berichten.

Nach dem Gesagten erscheint die Stellung, die unsere Wissenschaft unter den andern einnimmt, genugsam bezeichnet, und man wird mithin die Agrikulturchemie als eine *angewandte physische Wissenschaft* anzusehen haben, die, obgleich ziemlich *theoretischer Natur*, doch in *ihrem Ausdehnungsgebiet* wesentlich *durch den praktischen Zweck bestimmt wird*, dem sie dient, und die sich daher über beliebig viele spezielle Naturwissenschaften erstrecken kann, je nachdem die landwirthschaftliche Praxis mehr oder weniger ausgedehnte technische Operationen umfasst. So würde die Theorie der Gährungserscheinungen, je nachdem im landwirthschaftlichen Betriebe die Gährungsgewerbe eine Stelle haben oder nicht, einen Theil der Agrikulturchemie bilden, oder von unserer Wissenschaft auszuschliessen sein.

Die Agrikulturchemie zerfällt nun naturgemäss in mehrere Unterabtheilungen; einmal *in einen rein theoretischen Theil der Ernährungslehre der von dem Landwirth gezogenen und kultivirten Organismen,* und *in einen mehr praktischen Theil der Lehre von den realen Bedingungen, unter denen in der landwirthschaftlichen Technik jener Zweck erreicht wird.*

Dieselbe zerfällt aber auch in Bezug auf die verschiedenen Reiche der Organismen, um die es sich handelt, in mehrere Unterabtheilungen. Man hat diesem letztern Eintheilungsprincip unter allen Umständen Rechnung getragen und *die Theorie des Pflanzenbaus,* von *der Theorie der Viehhaltung* immer sorgfältig getrennt gehalten und so die Pflanzen-Ernährung der thierischen gegenüber gestellt.

Eine sehr zweckmässige Eintheilung erhält man nun, wenn man, den Bedürfnissen der Praxis und den Anforderungen der Theorie gleichzeitig Rechnung tragend, *die Ernährung der chlorophyllführenden Organismen* und *die Ernährung der chlorophyllfreien Organismen* gesondert behandelt. Man bekommt so auf der einen Seite eine Grundlage für eine *Theorie des Feldbaus,* auf der andern Seite für *eine Theorie* sowohl *der Viehhaltung* als *der landwirthschaftlichen Gährungsgewerbe,* — auf der einen Seite die *Lehre von der Produktion der organischen Substanz durch die chlorophyllführenden Organismen,* die höheren grünen landwirthschaftlichen Nutzpflanzen, auf der andern Seite *die von der Umformung und Zerstörung derselben durch die sonst so verschiedenen chlorophylllosen Organismen,* landwirthschaftliche Nutzthiere und Gährungspilze.

Auf der einen Seite, mit der wir es hier ausschliesslich zu thun haben, schliesst sich dann an die *Ernährung der chlorophyllführenden Organismen,* die *Behandlung der realen Verhältnisse* an, unter denen diese Ernährung in der landwirthschaftlichen Praxis sich vollzieht, mit Zugrundelegung der erkannten Ernährungsbedingungen, also im Wesentlichen die *Boden-* und die *Dünger-Lehre.* — Dieser zweite Theil des uns vorliegenden Gegenstandes, wo die möglichen Anwendungen von den im ersten Theil erkannten Ernährungsbedingungen der Kulturgewächse gemacht werden sollen, ist *Theorie des Feldbau's* genannt worden. — Ich hege die bestimmte Hoffnung, dass man sich sehr bald mit dem befolgten Eintheilungsprincip befreunden wird.

Was dann weiter die nähere Anordnung des Stoffs innerhalb dieser Unterabtheilungen betrifft, so habe ich mich nicht allzu streng an eine bestimmte Systematik gehalten, sondern hauptsächlich dafür Sorge getragen, dass die vorzutragenden Thatsachen in der ihnen gegebenen Reihenfolge bei dem Lernenden möglischt viel Interesse erregen und möglichst leicht für denselben verständlich sind.

Wir werden bei der Lehre von der Ernährung der chlorophyllhaltigen Organismen mit deren wichtigster Thätigkeit, der *Produktion von organischer Substanz* beginnen, deren Wesen deutlich zu machen suchen und dann nach der Reihe die Bedingungen aufsuchen, die direkt und dann mehr und mehr indirekt erfüllt sein müssen, damit jene Thätigkeit vollzogen werden kann. Jener erst wunderbare Process wird unser Interesse mächtig zu fesseln im Stande sein, und ihm zu Liebe werden wir dann willig das Studium der ferner und ferner liegenden Umstände und Voraussetzungen unternehmen, das von vornherein keinerlei Reiz für uns besessen haben würde.

Es wird sich diesem Plane gemäss an das Kapitel von *der Produktion der organischen Substanz,* das Kapitel von *deren Ortsänderung in der Pflanze* und dann weiter von deren *Umformung und Zerstörung* anreihen, und alsdann werden wir einen Blick auf *diejenigen Pflanzenbestandtheile* werfen, deren Existenz aus den bis dahin erkannten Vorgängen sich erklärt. Man kann so durch sehr einfache Betrachtungen und ohne den Anfänger durch unnöthige Details zu verwickeln, einen grossen Theil der wichtigsten Thatsachen der Pflanzenernährung in einer die Aufmerksamkeit fesselnden Weise abhandeln.

Erst nach Erledigung dieser Abschnitte soll Rücksicht genommen werden auf den *Stickstoffgehalt* der grünen pflanzlichen Organismen und von *Stickstoffassimilation, der Entstehung der stickstoffhaltigen organischen Substanzen in der Pflanze, der Funktion dieser Substanzen* in derselben gesprochen werden, um vom Einfachen, Leichtverständlichen möglichst langsam zu den complicirteren Verhältnissen, wie wir sie in der Natur antreffen, überzugehen.

Es folgt dann eine neue Erweiterung durch die Rücksichtsnahme auf die *feuerfesten Bestandtheile der Vegetabilien, deren Aufnahme und Funktionen* in ausführlicher Weise Erledigung finden werden; und wenn wir dann alle die Stoffe kennen, aus denen der Pflanzenleib sich aufbaut, alle die Veränderungen kennen, die jene Stoffe in dem Organismus erleiden, gelangen wir *zu den Gesetzen der Stoffaufnahme,* die eine besondere Bearbeitung gefunden haben.

Damit ist alsdann der erste Theil des Gegenstandes, der von uns behandelt

werden soll, abgethan, der Abschnitt von den Bedingungen des Pflanzenwachsthums erledigt. Es wird übergegangen werden zu dem zweiten Theil, zur Betrachtung der *realen Verhältnisse des Ackerbaus*, unter denen jenen geforderten Bedingungen Genüge gethan werden muss, *zur Theorie des Feldbaus.* Dort wird zuerst das Verhältniss von *Atmosphäre* und *Boden* zu den Kulturgewächsen einer Betrachtung unterworfen werden, namentlich *Zusammensetzung und Eigenschaften des Bodens* eine nähere Behandlung erfahren. Sodann sollen die *Veränderungen, welche die Vegetationsbedingungen des Bodens durch Pflanzenwuchs und Ernteentnahme* erleiden, in's Auge gefasst, und es wird auf diese Weise gezeigt werden, wie die *Düngung theilweise als eine Wiederherstellung* der durch den Anbau gestörten Vegetationsbedingungen aufgefasst werden kann, und so der Uebergang zu der eigentlichen *Düngerlehre* gemacht werden. Diese wird endlich abgeschlossen werden durch Hereinziehung einiger wirthschaftlicher Gesichtspunkte, die im Verein mit den physischen es gestatten, einige Tagesfragen der *Düngerwirthschaft* resp. der *„Düngerpolitik“*, die auf dem Grenzgebiet der Agrikulturchemie und der Nationalökonomie liegen, zu beantworten.

Wenn man das, was auf irgend einem Fleck Landes, der mit grünen Pflanzen beliebiger Art bestanden ist, vor sich geht, im Grossen und Ganzen betrachtet und auszudrücken sucht, so gelangt man unfehlbar zu dem Satze, dass es *ein Erzeugen von organischer Substanz aus anorganischen Stoffen* ist.

Der Landwirth ist gewiss am Ersten dazu befähigt, die durch vorstehenden Satz ausgesprochene Thatsache anzuerkennen. Derselbe führt alljährlich von seinen Grundstücken eine grosse Menge organischer Stoffe der verschiedensten Art heim; was er dafür auf das Feld hinausbringt, enthält weit weniger von solchen organischen Stoffen, und wenn er Dies nicht ohne Weiteres glauben sollte, so weiss er doch, dass er seine Felder unter Umständen zur Produktion von organischer Pflanzensubstanz veranlassen kann, durch alleinige Zufuhr von Stoffen, die keinerlei organische Substanz in sich enthalten, oder dass auf Boden von grosser Fruchtbarkeit, wie z. B. den Marschländereien Jahrhunderte lang ohne alle Düngung und unter Verhältnissen, wo die geernteten organischen Stoffe unmöglich als früher schon in der Ackererde vorhanden und blos aus dieser in die Pflanze übergangen angesprochen werden dürfen, die reichlichsten Ernten an Pflanzensubstanz gemacht werden.

In der That tritt uns überall, wo wir das Leben der grünen Pflanze aufmerksam betrachten, dieselbe Thatsache entgegen. Wir sehen draussen in der Natur eine rein mineralische und kohlenstofffreie Masse, wenn nur sonst alle die Bedingungen erfüllt sind, die zum Zustandekommen einer Vegetation unerlässlich, sich mit einer Pflanzendecke überziehen — je nach der Natur der mineralischen Unterlage von sehr verschiedener Art. Blosgelegte Felspartieen sehen wir häufig nach kurzer Zeit sich mit mannigfach gefärbten Flechten bekleiden, die erstarrte und abgekühlte Lava, in der gewiss keine organische Substanz vermuthet werden kann, bedeckt sich an ihrer Oberfläche mit üppigem Grün, und selbst der lose Dünensand, der ebenso keine erheblichen Mengen von organischen Stoffen einschliesst, zeigt sich für Kiefernanpflanzungen zugänglich, die, wenn sie auch noch so kläglich gedeihen, doch stetig in der Form von Holz, Harz etc. eine grosse Menge von neugebildeter

organischer Substanz zu liefern vermögen, und noch dazu den Boden in einem an organischen Stoffen reichen Zustande zurücklassen.

Dieselbe Thatsache, zu deren Erkenntniss in der Natur immerhin schon eine gewisse Aufmerksamkeit oder einiges Nachdenken erforderlich ist, tritt uns noch in viel unzweideutigerer Weise in dem Experiment des Pflanzenphysiologen entgegen. Dieser nimmt einen angefeuchteten Quarzsand, setzt einen gekeimten Samen hinein und begiesst diesen Sand von Zeit zu Zeit mit einer sehr verdünnten Lösung von Mineralsalzen oder setzt auch wohl seine Keimpflanzen direkt in eine solche Lösung; — und siehe da, wir sehen die junge Pflanze sich entfalten, wachsen und hundertfältige Früchte bringen. Zum Ueberfluss bestimmt man das Trockengewicht der geernteten Pflanze und vergleicht es mit dem des ausgelegten Samens, das auf einem indirekten Wege sehr leicht gefunden werden kann; man ermittelt ferner auf gleiche Weise die mineralischen Bestandtheile der gemachten Aussaat und der erzielten Ernte und berechnet dann den Zuwachs von organischer Substanz. Wir sehen so durch das tadellos ausgeführte Experiment, so oft wir es wünschen, bestätigt und zur unwiderleglichen Gewissheit erhoben, was schon unserm aufmerksamen Blick draussen in der Natur nicht entgehen konnte, dass *die grüne Pflanze befähigt ist, organische Substanz zu erzeugen,* wobei selbstredend unter diesem Ausdruck kein Neuschaffen aus dem Nichts, sondern nur eine chemische Umwandlung anorganischer Stoffe in organische verstanden werden darf, denn Ersteres ist nach unseren wohlgegründeten Vorstellungen von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie eine Unmöglichkeit.

Die Bedeutung des Ausdrucks „organische Substanz" und „Umwandlung anorganischer Stoffe in organische" bedarf indessen, um jedes Missverständniss von Vorneherein abzuschneiden, einige Erläuterungen, da man sich in neuerer Zeit mehr und mehr gewöhnt hat, in verschiedenen Disciplinen Etwas Grundverschiedenes mit dem Namen einer „organischen Substanz" zu belegen. Ich muss dabei an die geschichtliche Entwicklung unserer Begriffe über die Entstehung der vorzugsweise in Organismen vorkommenden Substanzen erinnern.

Ursprünglich ist der Begriff „organische Substanz" ein beinahe selbstverständlicher und darum ein sehr leicht definirbarer und begrenzbarer gewesen. Man nannte in der Chemie, nachdem man einmal angefangen hatte, chemisch reine Substanzen, sogenannte „chemische Individuen" von beliebigen Gemischen solcher einzelner Substanzen zu unterscheiden, alle diejenigen Körper,*) die man lediglich in Organismen aufgefunden hatte, zu deren künstlichen Darstellung man sich nicht für befähigt erachtete und zu deren Entstehung man daher Organismen für unumgänglich nothwendig hielt, organische Substanzen. Alle diese Stoffe, erwiesen sich bei der Zerlegung als kohlenstoffhaltig und man sprach aus, dass alle organischen Substanzen Kohlenstoffverbindungen seien. Allein man hatte auch den Kohlenstoff als einen Bestandtheil vieler Verbindungen, die in der unorganischen Natur aufgefunden worden waren, oder die aus den letzteren leicht dargestellt werden konnten, erkannt, mithin als einen Bestandtheil von Verbindungen, die nach ihrem Vorkommen jedenfalls als anorganische bezeichnet werden mussten.

*) Wie man unpassender Weise in der Chemie auch die chemischen Individuen genannt hat.

Man war also weit davon entfernt den Begriff der Kohlenstoffverbindungen mit dem der organischen Substanzen zu identificiren, obwohl man den Kohlenstoffgehalt als wesentlich für alle organischen Stoffe hatte erkennen müssen. In den älteren Lehrbüchern der Chemie werden daher nicht alle Kohlenstoffverbindungen in organischen Theilen abgehandelt, wie dies in vielen neueren — wir werden gleich sehen warum — geschieht, sondern eine Reihe von jenen Verbindungen als unorganische Körper betrachtet. Die Grenze zwischen beiden Klassen von kohlenstoffhaltigen Körpern schien scharf gezogen werden zu können, da man nur die ausschliesslich in Organismen vorkommenden (nicht die allen Reichen gemeinschaftlichen) Substanzen, und solche, die lediglich aus diesen künstlich dargestellt werden konnten, mit dem Namen „organische“ belegte. Es war praktisch niemals vorgekommen, dass die, wie man sich ausdrückte, unter dem Einfluss der Lebenskraft sich bildenden complexen Kohlenstoffverbindungen, auch ausserhalb der Organismen aus unorganischem kohlenstoffhaltigen Material gebildet worden waren.

Die so gezogene Grenze musste aber naturgemäss eine unsichere werden, als es einmal gelang, einzelne jener nach der eben gegebenen Erläuterung als organisch bezeichnete Stoffe künstlich aus anorganischen darzustellen. Die erste grosse Bresche in das anscheinend so fest gegründete System wurde durch die künstliche Darstellung des Harnstoffs aus Cyanverbindungen (die ihrerseits aus rein unorganischem Material hervorgehen konnten) und Ammonniaksalzen durch Wöhler im Jahre 1828 geschossen, obwohl man sich noch Anfangs damit zufrieden zu geben geneigt schien, dass der Harnstoff ein Endprodukt des Stoffwechsels, eine Verbindung nahe ihrem Zerfall in anorganische Produkte sei, die gewisser Massen an der Grenze stehe, und sich dachte, dass für die eigentlichen hochorganisirten Verbindungen, wie sie in die Zusammensetzung der Organismen eingehen, eine derartige künstliche Darstellung unmöglich, die Grenzlinie also auch nach dieser Verrückung oder Einschränkung dennoch eine haltbare sei.

Aber bald erfolgte Stoss auf Stoss gegen die mühsam aufrecht erhaltenen Schranken. Es gelang mehr und mehr auch jene sogenannten hochorganisirten Verbindungen *) in grosser Anzahl, z. B. den gewöhnlichen Alkohol, wenn auch indirekt, aus anorganischem Material zu bilden. Fast täglich wurden — Dank den Fortschritten der neueren Chemie — derartige Bildungsweisen für eine stets wachsende Anzahl organischer Stoffe entdeckt, und heute zweifelt Niemand mehr daran, dass es dereinst gelingen könne, alle organischen Verbindungen bis herauf zu den Proteïnverbindungen auf diesem Wege darzustellen.

Die Chemie half sich in dieser schwierigen Lage kurz und definirte alle Kohlenstoffverbindungen als organische Substanzen, die organische Chemie als die Chemie Kohlenstoffs, und seitdem bekümmert sich dieselbe durchaus nicht mehr um das Vorkommen der einzelnen Substanzen innerhalb und ausserhalb von Organismen. In der genannten Wissenschaft ist daher der ursprüngliche Sinn des Wortes „organische Substanz“ verloren gegangen und dafür ein anderer von jenem gänzlich verschiedener, aber klar definirbarer supponirt worden.

*) Die Synthese der Ameisensäure durch Berthelot spielt in der Reihe dieser Entdeckungen eine bedeutende Rolle.

Allen denjenigen Disciplinen jedoch, die es mit physiologischen Dingen zu thun haben, ist mit dieser Auffassung, wodurch die ganze frühere Bedeutung jener Bezeichnung verloren geht, und wobei diese letztere nur aus Bequemlichkeitsrücksichten für eine grosse Menge von chemischen Verbindungen beibehalten wird, keineswegs gedient. Für alle diese Disciplinen, denen sich in der Hinsicht die Agrikulturchemie beigesellen muss, besteht trotz der Möglichkeit der künstlichen Darstellung der Bestandtheile, die im Wesentlichen die Leiber der Organismen zusammensetzen, dennoch ein greifbarer und, wie ich glaube, auch definirbarer Unterschied zwischen diesen Bestandtheilen und den unorganisirten Kohlenstoffverbindungen. Jene haben vor diesen immer eine Eigenschaft voraus, die bei einer nur sehr kleinen Aenderung der ursprünglichen Begriffsbestimmung völlig charakteristisch ist und eine scharfe und bleibende Grenzlinie zu ziehen erlaubt, — die Eigenschaft, Affinität zu Sauerstoff zu besitzen*), die bei allen anorganischen Kohlenstoffverbindungen schon vollkommen gesättigt ist, — also im weitesten Sinn des Worts „verbrennlich“ zu sein, während diese unverbrennlich sind, keine weiteren Mengen von Sauerstoff in sich aufzunehmen vermögen. Dass ein ähnlicher Process, wie er für die Organismenwelt als Ganzes betrachtet, charakteristisch ist, solche verhältnissmässig sauerstoffarme Stoffe aus anorganischen ebenfalls kohlenstoffhaltigen aber sauerstoffgesättigten Verbindungen zu erzeugen, auch künstlich eingeleitet werden kann, stört unsere Anschauungsweise nicht im Allergeringsten. Wir sagen einfach, dass es auch ausserhalb von Organismen möglich sei, organische Substanz zu produciren.

Wir haben dieser Begriffsbestimmung nach nicht blos alle die früher sogenannten „organischen“ Substanzen, die kohlenstoffhaltigen Baustoffe der Organismen als solche zu bezeichnen, sondern müssen auch eine Reihe von Körpern, deren Zusammenhang mit der organischen Welt nicht mehr so auf der Hand liegt, die man theilweise ausserdem schon in sehr früher Zeit aus hochoxydirtem, anorganischem

*) Hier mag sogleich die Bemerkung Platz finden, dass zwar der Kohlenstoff ein Element ist, das wegen der Mannigfaltigkeit seiner Verbindungen (die er wesentlich seiner Hochatomigkeit verdankt) und seiner ziemlich grossen Verbreitung sich ganz besonders zum Aufbau der Organismenleiber zu eignen scheint, dass aber theoretisch durchaus Nichts im Wege steht, dass nicht auch andere Elemente von ähnlichen Eigenschaften dieselbe Rolle spielen könnten, wenn auch thatsächliche Beobachtungen über ein derartiges Verhalten eines Elementes nicht vorliegen. Es ist besonders durch die schönen Untersuchungen von Friedel und Ladenburg (Vergl. Annalen d. Chemie u. Pharm. B. 143 p. 118, B. 145 p. 174 u. 179, B. 147 p. 355 und Compt. rend. T. 66 p. 816) festgestellt worden, dass das Silicium in ganz ähnlicher Weise wie der Kohlenstoff wasserstoffhaltige und verhältnissmässig sauerstoffarme Verbindungen von mannigfaltiger Zusammensetzung einzugehen befähigt ist, die es zu ähnlichen Funktionen geeigenschaftet erscheinen lässt. So hat man beispielsweise eine der Oxalsäure analoge verbrennliche Verbindung dargestellt, die Silicium statt Kohlenstoff enthält, spricht bereits von einer Aethylreihe des Siliciums u. s. f. Es geht aus der von uns im Text sogleich zu acceptirenden Auffassung des Wortes „organisch“ hervor, dass wir auch diese (in Bezug auf Kieselsäure) reducirten Siliciumverbindungen als organische Substanzen bezeichnen müssten, sobald der erste (theoretisch mögliche) Fall eines Organismus vorläge, der seinen Leib ganz oder theilweise aus Kieselsäure und Wasser unter Abscheidung von Sauerstoff aufbauen sollte, während der Chemiker dies seiner Definition nach selbstredend unterlassen müsste.

Material darzustellen vermochte und die daher früher wohl zu den anorganischen Substanzen gerechnet worden sind, wie z. B. die reine Kohle, die gasförmigen Kohlenwasserstoffe, das Kohlenoxydgas, das Cyan etc. als organische Substanzen auffassen, so dass nur die völlig verbrannten kohlenstoffhaltigen Körper, die Kohlensäure und deren Verbindungen (mit kohlenstofffreien und ebenfalls verbrannten Stoffen) als anorganische Substanzen übrig bleiben.

Es wird erst viel später nach Kenntniss der Grundzüge des Lebens der Organismen möglich sein, den Sinn und die Berechtigung der eben gegebenen Begriffsbestimmung völlig zu verstehen; hier genügt es, den so gefassten Begriff festzuhalten.

Wenn wir im Vorhergehenden von Produktion von organischer Substanz aus anorganischem Material sprachen, so musste darunter verstanden werden: Die Vornahme eines Reduktionsprocesses von hochoxydirtem kohlenstoffhaltigem Material zu sauerstoffärmeren Verbindungen. Ein solcher Process wird also von der lebenden Pflanze unterhalten und die so gebildeten organischen Verbindungen sind das wesentliche Material, aus dem der Pflanzenleib sich aufbaut. Eine Produktion von organischer Substanz im Sinne der heutigen Chemie wäre natürlich nach unseren Anschauungen unmöglich. Es hiesse dies Nichts Anderes, als ein Entstehen von kohlenstoffhaltiger Materie aus kohlenstofffreier, eine Umbildung von chemischen Elementen in einander oder gar eine Neubildung von Materie — Dinge, die, wie gesagt, nach unseren Vorstellungen zu den Unmöglichkeiten gehören *).

Die Produktion von organischer Substanz in dem von uns nun hinlänglich erläuterten Sinn ist also, wie man durch Beobachtung natürlicher oder künstlich eingeleiteter Vegetationen leicht finden kann, ein Resultat des Pflanzenlebens und, wie wir hinzufügen können, das hervorragendste Resultat desselben. Dieselbe besteht, wie aus der gegebenen Begriffsbestimmung hervorgeht, in der Bildung von relativ sauerstoffarmen Kohlenstoffverbindungen aus der sauerstoffreichsten, der Kohlensäure, die wir mit ihren Verbindungen als die einzigen anorganischen kohlenstoffhaltigen Körper bezeichnen mussten.

Es muss aber nun sogleich hinzugesetzt werden, dass *alle* die organischen Substanzen, die im Pflanzen- und Thierkörper eine Rolle spielen, auch noch einen andern characteristischen Bestandtheil ausser Kohlenstoff enthalten, — den Wasserstoff, und dass daher die Kohlensäure nicht der einzige Rohstoff sein kann, aus dem sich bei dem vor sich gehenden Reduktionsprocess die organische Substanz aufbauen kann. Gleichzeitig mit der Kohlensäure wird das Wasser, die verbreitetste und gleichfalls hochoxydirte Wasserstoffverbindung durch jenen Process verarbeitet, und so entsteht eine organische Verbindung, die aus Kohlensäure und Wasser bestehend gedacht werden kann, weniger einer gewissen Menge von Sauerstoff, und die wir vorerst noch unbestimmt lassen wollen. Der Process der Entstehung von organischer Substanz in der Pflanze kann durch folgende chemische Umsatzgleichung dargestellt werden:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_x\,H_{2y}\,O_{2x+y-z} + z\,O$$

worin x, y, z noch unbestimmte Werthe haben sollen.

*) So lange wenigstens unsere provisorischen Elemente als wirkliche unzerlegbare Grundstoffe betrachtet werden müssen.

Dies war nothwendig vorauszuschicken; doch beschäftigten wir uns vorerst noch nicht mit der Frage, in welcher Weise die Kohlensäure und das Wasser der producirenden Pflanze zur Verfügung gestellt wird, sondern nehmen dieses Rohmaterial der Produktion einmal als an der Stätte dieses Vorgangs vorhanden an und halten nur fest, dass die Entstehung von organischer Substanz stets auf Kosten von Kohlensäure und Wasser und unter Abscheidung von Sauerstoff vor sich gehen muss.

Es wird für uns zunächst von Interesse sein, den Vorgang der Entstehung dieser organischen Substanz in der Pflanze näher kennen zu lernen, die Bedingungen zu ermitteln, die zum Zustandekommen dieses Processes nothwendig erfüllt sein müssen, den Ort, wo dieser Process verläuft, und den Apparat, in dem derselbe vollzogen wird.

Die Pflanzenphysiologie ist im Stande, mit voller Bestimmtheit den Apparat zu bezeichnen, in dem die organische Substanz Entstehung nimmt. Es ist dies die *chlorophyllhaltige* (blattgrünhaltige) *Zelle.* Nicht jede Pflanzenzelle ist im Stande, auch bei Erfüllung aller der Bedingungen, die sonst zum Zustandekommen des Produktionsprocesses *) vorhanden sein müssen, diesen Process zu vollziehen, sondern die Pflanzenzelle muss zu diesem Behufe eine ganz bestimmte, nachher näher zu besprechende Einrichtung besitzen, die wir als Chlorophyllgehalt bezeichnen. Eine Pilzzelle z. B., die ausnahmslos diese Einrichtung nicht besitzt, ist schlechthin unbefähigt zur Production von organischer Substanz, mag sie nun eine vereinzelte Spore sein oder ein Theil eines complicirteren Pilzorganismus.

Dagegen vermag eine *einzelne* Zelle, wenn sie jene Einrichtung besitzt, d. h. chlorophyllhaltig ist, aus Kohlensäure und Wasser organische Substanz zu bilden. Eine einzellige Alge, ein Protococcus z. B. ist zur Produktionsthätigkeit genau so befähigt, wie die complicirtesten chlorophyllführenden Organe der höheren Pflanzen. Dieselbe scheidet, wenn nur alle Bedingungen jenes Vorgangs erfüllt sind, aus Kohlensäure und Wasser Sauerstoffgas ab und gewinnt bei diesem Vorgang organische Materie, aus der sie im Wesentlichen ihren Leib bildet und neue Zellen formt, die sich alsdann in einer hier nicht näher zu verfolgenden Weise von der Mutterzelle loslösen.

Die Pflanzenzelle an sich hat also nicht die Befähigung, organische Substanz aus unorganischem Material zu bilden. Sehr viele Pflanzenzellen, sehr viele vielzellige Pflanzenorgane und sehr viele ganze Pflanzen besitzen in einzelnen Entwickelungsstadien oder während ihres ganzen Lebens die Einrichtung nicht, die zu jener Thätigkeit geeignet macht, und wenn wir vorhin in etwas unbestimmter Form von der Thatsache sprachen, dass mann durch sehr einfache Beobachtungen zu der Einsicht der Entstehung von organischer Substanz durch das Pflanzenleben gelangen könne, so war diese Ausdrucksweise nur in sofern richtig, als die überwiegende Mehrzahl der Pflanzen **), während der längsten Zeit ihres Bestehens die präcisirte Lebensweise befolgt. Wir werden auf diesen Gegenstand noch häufig zurückkommen.

---

*) So wollen wir den Vorgang der Entstehung von organischer Substanz in Zukunft nennen.

**) Vielleicht nicht die Mehrzahl der einzelnen pflanzlichen Individuen, sondern der der Masse nach, auf die es hier ankommt.

Zunächst wirft sich uns nun die Frage auf: Worin besteht denn jene eigenthümliche Vorrichtung, die zur Vollziehung jenes Processes befähigt? und da muss ich sogleich bemerken, dass wir zur Zeit ausser Stande sind, jene Vorrichtung in ihrer Zweckmässigkeit, in der Art und Weise ihres Arbeitens zu verstehen. Wir kennen jedoch eine Reihe von sicher festgestellten äusseren Merkmalen, an denen es auch dem Laien in diesen Dingen möglich ist, die Befähigung einer Zelle zu jener Produktion von organischer Substanz sofort zu erkennen. Die chlorophyllhaltige Zelle oder doch ein Complex solcher Zellen erscheint auch dem unbewaffneten Auge völlig grün. Es gibt nur verhältnissmässig wenig Ausnahmen, wo der Gehalt an Chlorophyll in grösseren Organen nicht durch die Farbe erkannt werden kann, wenn nemlich der grüne Farbstoff, den wir Chlorophyll oder Blattgrün nennen, durch irgend einen andern Farbstoff gedeckt wird, so dass eine eigenthümliche Mischfarbe entsteht. Dieser Fall kommt namentlich bei vielen Flechten und Algen *) vor, wo es dann bei Anwendung von verschiedenen Lösungsmitteln gelingt, neben andern Farbstoffen den Gehalt an dem grünen Chlorophyllfarbstoff dennoch festzustellen. Ganz Etwas Aehnliches findet auch bei manchen höheren Pflanzen, z. B. den Blutbuchen und andern rotherscheinenden Varietäten, von Haselnuss etc. statt, wo die grüne Farbe der chlorophyllhaltigen Zellen durch den rothgefärbten Zellsaft völlig verdeckt wird. Häufig finden wir auch die grünen Organe, wie z. B. beim Edelweiss, von einer weissen Behaarung ganz verdeckt, wo sie sich dann schon durch einfaches Zerreissen der Pflanze bloss legen und in ihrer charakteristischen Färbung erkennen lassen.

Im Grossen und Ganzen sind jedoch die chlorophyllführenden Pflanzen und Pflanzentheile auch für das ungeübte Auge völlig grün, und man urtheilt im Allgemeinen ganz richtig, wenn man annimmt, dass die grünen **) Pflanzen und Pflanzentheile jenen Reduktionsprozess in sich zu vollziehen im Stande sind, und den anders gefärbten Pflanzen und Organen diese Fähigkeit vollständig abspricht. Namentlich sind farblose Pflanzen oder Theile derselben fast ***) ausnahmslos chlorophyllfrei.

Alle solche chlorophylllose Pflanzen und Pflanzentheile sind also nicht im Stande, sich organische Substanz selbst zu erschaffen, und eine jede Zelle, die

*) Man war lange geneigt, in solchen nicht grün gefärbten Organismen, wie z. B. in den rothen Florideen andere Farbstoffe, die man als Erythrophyll u. s. w. bezeichnete, anzunehmen, die ebenso wie das Chlorophyll die betreffenden Zellen zur Produktion von organischer Substanz befähigen sollten; aber Rosanoff (Observations sur les fonctions et les propriétés des pigments de diverses algues: Extrait des mémoires d. l. société impér. d. sc. nat. d. Cherbourg T. XIII. p. 145) scheint bewiesen zu haben, dass auch die nicht grüngefärbten Algen neben anderen Pigmenten wirkliches Chlorophyll enthalten. Auch Etwas Aehnliches ergibt sich aus den spectroskopischen Untersuchungen des Farbstoffs der Diatomeen von A. L. Smith (vergl. Annal. d. Landw. Wochenbl. 1870. p. 27); die roth- und gelbgefärbten Blattheile höherer Pflanzen wie z. B. Amaranthus tricolor. (Vergl. Cloëz. Compt. rend. 1863 T. 57 p. 834) enthalten stets wirkliches Chlorophyll.

**) Es kommen allerdings in der Pflanzenwelt wie z. B. bei den fruktificirenden Schimmelpilzen, ebenso wie in der Thierwelt Grünfärbungen vor, die mit einem Chlorophyllgehalt Nichts zu thun haben.

***) Einzelne weisslich erscheinende Flechtenformen enthalten Chlorophyll.

die besprochene Einrichtung nicht besitzt, ist darauf angewiesen, die organische Substanz, deren auch sie bedarf, von Aussen zu beziehen. Es ist dies ein Satz von sehr weitgehender Bedeutung, dem volle Beachtung geschenkt werden muss.

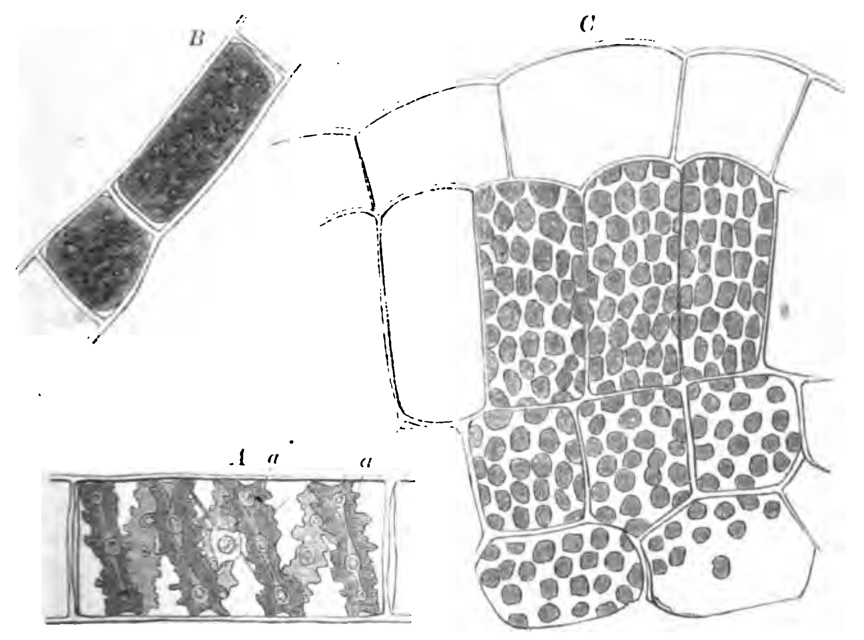
Was nun die nähere Einrichtung der chlorophyllhaltigen Zelle, die also im Allgemeinen grüngefärbt erscheint, betrifft, so bedarf es wegen der Kleinheit dieses Elementarorgans selbstredend des Mikroskops, dieselbe festzustellen. Durch Untersuchungen mittelst dieses Instruments hat sich nun ergeben, dass die chlorophyllhaltige Zelle ganz beliebige Formen annehmen kann, dass sie wie die andern Pflanzenzellen auch rund, ellyptisch, cylinderisch, relativ gross oder klein sein kann und sich von den Zellen, die jene Fähigkeit, den bezeichneten Reduktionsprocess vorzunehmen, nicht besitzen, im Wesentlichen und Allgemeinen nur unterscheidet durch eine abweichende Beschaffenheit des protoplasmatischen Theils des Zellinhalts. Es kann hier natürlich nicht unsere Aufgabe sein, eine erschöpfende Definition von „Protoplasma" zu geben, und ich erinnere in Folgendem nur an das über dieses Organ allgemein Bekannte. Wir bezeichnen mit „Protoplasma", resp. „protoplasmatischem Zellinhalt" eine auch ausserhalb von Zellen, oder besser, nicht umschlossen von Zellmembranen, vorkommende in der Regel flüssige, zuweilen gallertartige oder körnige organisirte stickstoffhaltige Substanz, von der alle organischen Neubildungen, sie mögen heissen, wie sie wollen, ausgehen, und die daher mit grösserem Recht als irgend ein anderes Elementarorgan der Pflanze *) als der wahre Sitz der Lebensthätigkeit angesprochen werden kann.

Dieses Protoplasma nun, das in jugendlichen der Vermehrung fähigen Zellen den ganzen Hohlraum der Zelle, wenigstens bis auf einen kleinen mit wässriger Flüssigkeit angefüllten, „Vacuole" genannten Rest, einzunehmen pflegt und nur in denjenigen älteren Zellen, die die Fähigkeit, sich selbstständig zu vermehren, eingebüsst haben, zurücktritt und ganz verschwindet, hat in den chlorophyllhaltigen Zellen eine abweichende Beschaffenheit, die sich zunächst in der Grünfärbung zu erkennen gibt. Das Protoplasma der chlorophyllhaltigen Zellen ist aber nicht etwa in allen Fällen einfach durch seine ganze Masse gleichförmig grün gefärbt, sondern es treten in weitaus den meisten Fällen mit der Grünfärbung eigenthümliche für die einzelnen Pflanzenformen vielfach characteristische Gestaltsveränderungen im Protoplasma auf, die hier wenigstens einer Erwähnung bedürfen. Nur in seltneren Fällen und dann immer bei den allerniedrigsten grünen Gewächsen ist der gesammte protoplasmatische Inhalt einer chlorophyllführenden Zelle, (wenigstens bis ganz nahe zur peripherischen Begrenzung des Protoplasma) gleichmässig grün gefärbt (Vergl. Fig. 1. B.). In der Regel ist die grüne Färbung gebunden an körnige, halbweiche Massen, die in dem Protoplasma, deutlich getrennt von dessen flüssigerem Theil, sich vorfinden und je nach der Pflanzenform sehr verschiedene Gestaltung besitzen. In allen Fällen aber kann der grüne Farbstoff durch Alkohol und ähnliche Lösungsmittel ohne weitere Aenderung der Form der gefärbten Massen bis zu deren Entfärbung ausgezogen werden. Solche grüngefärbte Inhaltskörper des Protoplasma werden dann je nach ihrer Gestalt als *Chlorophyll-Körner, Chlorophyll-Körper* oder *-Bänder* bezeichnet.

*) Ob diese Erläuterung auch strenge zutreffend ist für das, was im thierischen Organismus Protoplasma genannt wird, kommt hier nicht in Betracht.

während die chemische Substanz des ausziehbaren Farbstoffs schlechtweg *Chlorophyll* genannt wird.

Um einige Formen namhaft zu machen, die solche Chlorophyllmassen in verschiedenen Pflanzenarten annehmen, nenne ich die grünen Quergürtel, die sich in den cylindrischen Zellen mancher Fadenalgen, z. B. der Sphaeroplea annulina dadurch bilden, dass der die jugendliche Zelle gleichmässig auskleidende grüne Wandbeleg beim Wachsen derselben nicht gleichen Schritt hält mit der Zellwand und dem farblosen Protoplasma, die ihr Volumen weit rascher vermehren. In anderen Algenarten von cylindrischem Bau haben die sich auf gleiche Weise bildenden grünen Gürtel oder Platten, welche sich scharf getrennt zeigen von dem ungefärbten Protoplasma, die Gestalt einer cylindrischen Schraube*), wie z. B. in Spirogyra longata, wo dann eine jede Zelle eine solche mehrfach gewundene grüne Schraube enthält. Vergl. Fig. 1 A.



A. lebende Zelle von Spirogyra longata, 550fache Vergrösserung. (Nach J. Sachs: Botanik.) a. schraubenförmiger Chlorophyllgürtel. — B. Zellen von Oedogium, 550fache Vergrösserung; das ganze Protoplasma ist nahezu gleichmässig grün gefärbt. — C. Schnitt durch das grüne Blatt eines höheren Gewächses. Das Blattparenchym ist mit ausgebildeten Chlorophyllkörnern dicht angefüllt.

Bei den höheren grünen Pflanzen jedoch kommt ein derartiger geometrisch regelmässiger Bau des Chlorophyllkörpers nicht vor, sondern wir sehen in dem Protoplasma der chlorophyllhaltigen Zellen solcher Pflanzen eine grössere Anzahl von einzelnen rundlichen grüngefärbten Körnern auftreten (vergl. Fig. 1. C), die geradeso wie andere Chlorophyllmassen durch Alkohol ihrer Färbung beraubt werden, eine gleichgeformte protoplasmatische Grundlage hinterlassend.

Wir gehen hier noch nicht näher auf die Anordnung der chlorophyllhaltigen

*) Einer Spirale, wie die Botaniker sich fälschlich ausdrücken.

Zellen in den höheren Pflanzen ein, bei welchen eine complicirte Organisation die Anwesenheit einer grossen Anzahl chlorophyllfreier Zellen, die andern Zwecken dienen, neben den chlorophyllhaltigen erheischt, da wir es vorerst nur mit einer einzigen Function der grünen Pflanzenwelt zu thun haben. Wir erwähen nur, dass in den höheren Pflanzen gemeiniglich eine grössere Anzahl von chlorophyllhaltigen Zellen zu Organen zusammentreten, denen dann beinahe ausschliesslich die Aufgabe der Production von organischer Substanz zufällt. Solche Organe, die sich in der Regel durch eine eigenthümliche, wie wir später erkennen werden, für ihre Function sehr nützliche Gestalt und auch sonst durch einige zweckdienliche Einrichtungen auszeichnen, heissen Blätter, oder schärfer, Laubblätter. Diese rein physiologische Bedeutung des Wortes „Blatt" ist dann wohl zu unterscheiden von jener andern rein morphologischen des gleichen Wortes, die Nichts über die Function des damit belegten Organes, sondern nur Etwas über dessen Stellung im Entwickelungsgange aussagt.

In Vorstehendem sind ungefähr die Merkmale des Apparates, in welchem der Process, von dem wir in dieser Vorlesung zu sprechen angefangen haben, sich vollzieht, enthalten. Wir werden später noch einige Worte zu sagen haben über die Entstehungsbedingungen dieses physiologischen Apparats, die ganz eigenthümlicher Natur sind, und über die Art der Ausbildung desselben. In der nächsten Vorlesung aber wollen wir einen Blick auf die andern nothwendigen Erfordernisse zur Produktion von organischer Substanz im pflanzlichen Organismus werfen.

Zweite Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Die chemische Arbeit des Lichtes.

Wir haben in der ersten Vorlesung in der Pflanze einen Apparat kennen gelernt, in dem sich ein merkwürdiger Process: *die Reduktion von Kohlensäure und Wasser zu organischer Substanz* vollzieht und mit der Betrachtung dieses Apparates einen Theil der Bedingungen ins Auge gefasst, die nothwendig erfüllt sein müssen, damit dieser Process von Statten geht.

Heute wollen wir uns mit der weiteren Verfolgung der zunächst vor uns liegenden Aufgabe, mit der Aufsuchung der anderen Bedingungen beschäftigen, die in gleicher Weise zum Zustandekommen des in's Auge gefassten Processes unerlässlich sind.

Selbstverständlich ist zu diesem Vorgange ausser dem Apparate das Material erforderlich, aus dem die organische Substanz Entstehung nimmt. Wir wissen, dass Kohlensäure und Wasser dieses Material sind, und können also sagen, dass die chlorophyllhaltige Zelle den Process der Bildung von organischer Substanz nicht unter ganz beliebigen Umständen zu vollziehen vermag, sondern dass sie, um hierzu befähigt zu sein, Wasser und Kohlensäure in sich enthalten muss, die sie unter Abscheidung von Sauerstoff in sich verarbeitet. Wir erinnern nur an diese selbstverständliche aber unerlässliche Bedingung, ohne auf die Art und Weise, wie jene Stoffe in die chlorophyllhaltige Zelle eintreten, hier schon näher eingehen zu können.

Hiermit sind jedoch die Bedingungen zum Zustandekommen jenes Produktionsprocesses keineswegs erschöpft. Auf die Unerlässlichkeit einer weiteren Bedingung werden wir durch folgende Betrachtung hingewiesen. Zur Produktion von organischer Substanz aus unorganischem Material muss, wie wir gesehen haben, ein Reduktionsprocess vollzogen werden. Sauerstoff muss austreten, um irgend einen der in der Pflanze vorkommenden organischen Stoffe aus Kohlensäure und Wasser zu erzeugen. Wenn nun das Entgegengesetzte von diesem Processe stattfindet, wenn organische Substanz unter Aufnahme von Sauerstoff in Kohlensäure und Wasser zerfällt oder, wie wir uns gewöhnlich ausdrücken, zu Kohlensäure und Wasser *verbrennt*, so wird *Wärme frei*, oder wenn ich die Verbrennung in Apparaten von gewisser Einrichtung, wie z. B. im thierischen Muskel oder unter dem Kessel einer Dampfmaschine vornehme, so wird neben einer geringeren Menge Wärme, mechanische Bewegung, also wieder eine andere Form von Kraft erzeugt.

Wenn wir nun die Grundsätze des Gesetzes der Erhaltung der Kraft im Auge behalten und uns daran erinnern, dass dieses Gesetz genau dasselbe von der *Ewigkeit* (Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit) *der Kraft* aussagt, was wir seit Lavoisier für *den Stoff* erkannt haben, so wissen wir, dass überall, wo wir eine Kraft auftreten sehen, gleichviel in welcher Form, als Wärme, mechanische Bewegung, elektrische, chemische Spannkräfte, oder in irgend einer anderen Gestalt, wir diesem Gesetze gemäss die Berechtigung haben, nach dem Ursprung dieser Kraft zu fragen, da uns dessen Grundsätze verbieten, einen Vorgang stillschweigend anzunehmen, wo irgend eine solche Kraft aus dem Nichts erzeugt wird. Mit genau derselben Nothwendigkeit, mit der wir schliessen, dass irgend ein chemisches Element, das wir bei einem chemischen Process aus einer Substanz austreten sehen, in derselben enthalten gewesen und bei der Entstehung jener Substanz in irgend einer Form in dieselbe eingetreten sein muss, werden wir auch zu dem Schlusse gedrängt, dass irgend eine Kraft, die wir bei irgend welchem Process auftreten, frei werden sehen, bei dem diesem Processe entgegengesetzten Vorgang gebunden worden ist und schon vorher in irgend einer anderen Form vorhanden gewesen sein muss. Wir werden mit andern Worten berechtigt sein, nach dem Ursprung dieser Kraft bei jenem entgegengesetzten Vorgang zu fragen.

Wenden wir diese Principien allgemeinster Geltung auf unsern vorstehenden Fall an. Wir sehen bei der Verbrennung der organischen Substanzen, wie sie in der Pflanze erzeugt werden, Wärme oder unter den vorhin bezeichneten Umständen eine der andern Formen von Kraft auftreten. Die gesammte Wärme aller unserer Heizapparate, die gesammte Wärme und mechanische Bewegung aller unserer Dampfmaschinen, alle Wärme und mechanische Bewegung des ganzen Thierreichs sind dieses gemeinsamen Ursprungs; denn nur durch Verbrennung von organischer Substanz (im weitesten Sinne des Worts) können die genannten Kraftäusserungen unterhalten werden. Diese Kraft kann aber bei den Verbrenuugsprocessen nicht neu erzeugt worden sein; denn ein solcher Vorgang wäre nach den eben ausgesprochenen gemeingültigen Gesetzmässigkeiten eine Unmöglichkeit. Dieselbe muss vielmehr in irgend einer andern Form vorher vorhanden gewesen sein. Es ist nun nach einer kurzen Ueberlegung sofort anzugeben, in welcher Form diese Kraft vor dem Stattfinden des Verbrennungsprocesses vorhanden gewesen ist, — offenbar in

der Form von chemischer Affinität zwischen organischer Substanz und Sauerstoff, denn der Aeusserung dieser Affinität schreiben wir ja den Verbrennungsprocess mit seinen Phänomenen der Wärmeerzeugung u. s. w. zu. Diese chemische Affinität ist nun nach unseren Vorstellungen die Anziehungskraft zweier Körper, nemlich der kleinsten Theilchen der beiden verbindungsfähigen Stoffe, welche vorerst durch irgend einen Umstand verhindert sind, dieser Anziehungskraft, die sonst ihre kleinsten Theilchen in Bewegung versetzen würde, Folge zu leisten; also *Spannkraft* (potentielle Energie, nach der Ausdrucksweise des Gesetzes der Erhaltung der Kraft). Der Zustand, in dem sich die organische Substanz dem Sauerstoff gegenüber befindet, ist genau derselbe, in dem sich ein Stein, der von der Erde ein Stück in die Höhe gehoben ist, befindet, wenn er durch irgend ein Hinderniss z. B. durch Befestigung an einem unverrückbaren Faden am Herabfallen verhindert wird. In beiden Fällen haben wir es mit zur Zeit unbefriedigten Anziehungskräften zu thun, die nur auf Beseitigung des der Vereinigung entgegenstehenden Hindernisses (Abschneiden des Fadens in einem — Erhitzen auf die Verbrennungstemperatur im anderen Falle) warten, um aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung, aus dem Zustande der Spannkraft in den der lebendigen Kraft, aus dem Zustande der potentiellen Energie in den der actuellen Energie überzugehen.

So gut wir nun aber in dem gewählten Beispiel berechtigt und verpflichtet sind, wenn wir gewiss wissen, dass der Stein seiner Zeit auf der Erde gelegen hat, zu fragen: Was hat den Stein gehoben? welcher Leistung entstammt die Kraft, die sich beim Herabfallen des Steines in Form von mechanischer Bewegung und nach seinem Auffallen auf die Erde in Form von Wärme kundgibt? so dürfen und müssen wir auch Nachforschungen anstellen, welcher Form von Kraft die Wärme oder die mechanische Bewegung entstammt, die wir beim Verbrennen der organischen Substanz regelmässig auftreten sehen, da wir ja gewiss wissen, dass die organische Substanz (und mithin die chemische Spannkraft zwischen derselben und dem Sauerstoff, die bei der Verbrennung ausgelöst wird) nicht vom Anfang aller Dinge an existirt hat, uns ja vielmehr der Process genau bekannt ist, durch den diese organische Substanz Entstehung genommen hat. Mit andern Worten — und das „ist der langen Rede kurzer Sinn“ —: bei dem Process der Entstehung von organischer Substanz muss eine Kraft mitwirken, die jene chemische Affinität gleichsam erst in Spannung versetzt. In dem für diesen Process zur Verfügung stehenden Material, der Kohlensäure und dem Wasser war ja die chemische Affinität, welche die reducirten Substanzen gegen den Sauerstoff äussern, in dem Zustande der Sättigung, also keine chemische Spannkraft vorhanden. Die jene Anspannung erst bewirkende *Kraft muss nothwendig,* ebenso wie das Vorhandensein von Kohlensäure und Wasser und einer lebenskräftigen chlorophyllhaltigen Zelle, *eine der unerlässlichen Bedingungen der Bildung von organischer Substanz sein,* die wir alle einzeln aufzusuchen uns vorgenommen haben.

Wir werden sogleich uns der Untersuchung unterziehen, in welcher Bedingung der Produktion von organischer Substanz wir jene Kraftquelle zu suchen haben werden. Zuerst möchte ich noch auf die weitergehende Bedeutung des von uns in's Auge gefassten Processes, die sich nach der eben verfolgten Betrachtungsweise gegenüber der rein chemischen Anschauung desselben ergibt, aufmerksam machen.

Vom rein chemischen Gesichtspunkte aus, den man schon lange, ehe man über die Quellen der Krafterzeugung klare Vorstellungen besass, in Bezug auf jene Thätigkeit der grünen Pflanze eingenommen hatte, besteht diese Thätigkeit wesentlich in der Vornahme eines Reduktionsprocesses, während man für das thierische Leben, oder strenger, für das Leben der nicht chlorophyllführenden Organismen den Oxydationsprocess für charakteristisch erkannt hatte. Man war durch diese Anschauungsweise schon zu sehr anziehenden Betrachtungen über die sich *gegenseitig bedingende Lebensweise der beiden Reiche,* in Folge ihres reciproken Gasaustauschs gelangt. Es wird später von dieser Abhängigkeit die Rede sein.

Weit wichtigere Gesichtspunkte eröffnet uns indessen die Anwendung der Principien der Erhaltung der Kraft auf den vorliegenden Fall. Wir haben aus der soeben angestellten Betrachtung gelernt, dass bei dem Reduktionsprocess, genannt: Produktion von organischer Substanz, nothwendiger Weise Kraft gebunden werden muss, die nachher gleichsam in der organischen Substanz sich aufspeichert und dann, wenn diese von den Thieren als Nahrung aufgenommen wird und durch die Lunge derselben Sauerstoff hinzutritt, in den genannten Formen frei wird, dass also bei *jenem Reduktionsprocesse in der chlorophyllhaltigen Zelle Arbeit,* *) und zwar *„chemische“ Arbeit geleistet wird,* während bei dem entgegengesetzten chemischen Vorgang, der Verbrennung eine Quelle für weitere Arbeiten sich eröffnet, genau so wie auch zur Hebung jenes Steines die Leistung einer mechanischen Arbeit durchaus nothwendig ist.

Wir werden daher zweckmässiger Weise bei unsern nun folgenden Betrachtungen, um an diesen Sachverhalt zu erinnern, von der Entstehung der organischen Substanz aus Kohlensäure und Wasser stets sprechen, als von einer chemischen Arbeit der *„Produktionsarbeit“.* Wir werden dann immer das „Kraftverzehrende“ dieses Processes im Auge behalten und stets daran denken, dass ein solcher nur bei Gegenwart einer arbeitsfähigen äusseren Kraft von Statten gehen kann, zum Unterschied von der Mehrzahl der chemischen Processe, bei denen nur innere Kräfte (Affinitäten) wirken und bei denen wie beim Verbrennungsprocess chemische Spannkraft verloren geht, als Wärme frei wird. Diese letzteren chemischen Processe sind streng von den *chemischen Arbeiten* auseinander zu halten.

Die erläuterte Betrachtungsweise befähigt uns nun zu der Erkenntniss eines weit innigeren Verhältnisses zwischen Thier- und Pflanzenwelt, als es die Beachtung des Stoffwechsels zwischen beiden Reichen allein zu gewähren vermag. Die Kräfte, über welche die Thierwelt verfügt, auf die alle die von ihr veranlassten Bewegungen zurückgeführt werden können, sind sammt und sonders durch die Thätigkeit der grünen Pflanze gesammelt worden. Wir gelangen so neben dem Ueberblick eines Kreislaufs des Stoffs durch beide Reiche, den wir lange gekannt haben, zu einem Ueberblick eines Kreislaufs (wenn auch keines völlig geschlossenen) der Kraft, der

*) Der Ausdruck Arbeit, der seit langer Zeit in der Mechanik und, seitdem man alle Naturerscheinungen auf Bewegungserscheinungen zurückzuführen bestrebt ist, in einem viel weiteren Sinne in Bezug auf die Wechselwirkung der einzelnen Naturkräfte Anwendung findet, ist ursprünglich von der Muskelanstrengung, die nothwendig ist, um irgend eine mechanische Bewegung herbeizuführen oder abzuändern, hergenommen und wird noch immer entsprechend dieser Ableitung vorzüglich dann angewendet, wenn es sich um irgend einen Vorgang handelt, bei dem eine vorhandene Kraft in ihrer bisherigen Form zu Grunde geht.

uns schon jetzt mit Bestimmtheit auf die Abhängigkeit alles thierischen Lebens, oder schärfer des Lebens aller chlorophyllfreien Organismen, von dem Gedeihen der chlorophyllhaltigen Pflanzen hinweist. Ich habe es für wichtig genug gehalten, schon jetzt auf diesen Gesichtspunkt aufmerksam zu machen.

So weit in unsern Betrachtungen vorgeschritten, wird es nun unsere Aufgabe sein, die Kraft aufzusuchen, welche die chemische Arbeit der Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle zu leisten berufen ist. *Diese Kraft* wird nothwendig *eine weitere unentbehrliche Bedingung der Produktion von organischer Substanz* und, wie wir schon jetzt mit Gewissheit folgern können, weiterhin des gesammten Pflanzenlebens und der Existenz der ganzen organischen Schöpfung sein müssen.

Es erfordert kein übergrosses Nachdenken und keine sehr schwierigen physiologischen Experimente, um dieser gesuchten Kraft, dieser soeben auf rein deduktivem Wege abgeleiteten Bedingung des Produktionsprocesses auf die Spur zu kommen, und in der That hat man dieselbe schon sehr frühe als eine solche Bedingung erkannt und experimentell festgestellt, freilich ohne den eben dargelegten Zusammenhang zwischen der Leistung dieser Kraft und der Verbrennungswärme der organischen Substanz auch nur entfernt zu ahnen.

Unter den (experimentell leicht festzustellenden) Bedingungen des Produktionsprocesses sind nur zwei, hinter denen wir Quellen solcher Kräfte, die jene chemische Arbeit zu leisten im Stande wären, vermuthen können. Dies sind die stets zum Zustandekommen dieses Processes erforderliche Wärme und das gleichfalls zu demselben unentbehrliche Licht. In einer von diesen Bedingungen muss nothwendig die gesuchte Kraft stecken, und es wird uns nicht schwer fallen, den Entscheid zu treffen.

Zunächst werden wir einen Beleg dafür beizubringen haben, dass die Anwesenheit von Wärme und Licht wirklich Bedingungen sind, die erfüllt sein müssen, damit neue organische Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle Entstehung nimmt. Nichts ist leichter als die Feststellung dieses Sachverhalts. Es gibt eine Reihe von Versuchsanstellungen, deren methodologische Grundlagen indessen vielleicht an dieser Stelle noch nicht klar angesehen werden können, welche die behauptete Abhängigkeit des in der chlorophyllhaltigen Zelle sich vollziehenden Produktionsprocesses von Wärme und Licht demonstriren. Wir wissen, dass bei diesem Processe organische Substanz und Sauerstoff gleichzeitig gebildet wird. Das Auftreten neuer Mengen von organischer Substanz und Sauerstoff sind nothwendige Symptome des Processes, dessen Bedingungen zu ergründen wir uns zur Aufgabe gemacht haben; und so bedient man sich zweckmässig bei der experimentellen Feststellung dieser Bedingungen der Beobachtung eines dieser Symptome als sicheres Kriterium des Stattfindens jener chemischen Arbeit. Also man constatirt entweder die Bildung von organischer Substanz durch die Wage, indem man den Gehalt einer Pflanze, der es unmöglich gemacht ist, schon fertig gebildete organische Substanz von Aussen aufzunehmen, an solcher vor und nach der Anstellung des Experiments (durch Wägen der resp. Trockensubstanzen und der Aschengehalte) bestimmt, oder auch, indem man mit bewaffnetem Auge die Zunahme gewisser innerhalb der Chlorophyllkörner sich ausscheidender organischen Substanzen beobachtet. Oder aber, wenn man das andere Symptom als Kriterium benutzen will, man misst den in gasförmigem Zustande aus der chlorophyllhaltigen Zelle sich entwickelnden Sauerstoff auf die eine oder die andere Weise.

Nach allen diesen Methoden ist es leicht festzustellen, dass jene Symptome ausbleiben, wenn man der Zelle, in der sich der Reduktionsprocess vollziehen soll, die Wärme soweit entzieht, dass sie eine gewisse (im Allgemeinen nicht näher zu präcisirende) Minimaltemperatur überschreitet; und zwar liegt diese Minimaltemperatur in allen Fällen höher, als die Temperatur, bei welcher der Zellsaft zu Eis erstarrt, so dass nicht etwa jene Thätigkeit nur durch diesen Umstand gestört wird. So wurde z. B. von Boussingault*) in neuester Zeit festgestellt, dass die grünen Nadeln der Lärchen, die wie alle grünen Blätter umfangreiche Complexe von chlorophyllhaltigen Zellen darstellen, selbst bei 0,5°—2,5° C über 0, die grünen Blätter einer Grasart bei einer Temperatur von 1,5°—3,5° noch Kohlensäure zu zersetzen (Sauerstoff auszuscheiden) vermögen, vorausgesetzt natürlich, dass alle übrigen Bedingungen zum Zustandekommen dieses Processes erfüllt sind Bei vielen andern Pflanzen liegt diese Temperatur nachgewiesener Massen höher; **) aber schon aus dem angeführten Beispiele ist ersichtlich, dass die untere Grenztemperatur des Produktionsprocesses Nichts mit der Erstarrungstemperatur der Zellen in Folge der Eisbildung in deren Innern, auch Nichts, wie wir hinzusetzen können, mit der Erfrierungstemperatur der betreffenden Organe zu thun hat. Zu dem Zustandekommen des Produktionsprocesses ist es eben — und die gleiche Erfahrung werden wir später für alle andern physiologischen Processe machen — nothwendig, dass derselbe nur zwischen zwei für eine jede Pflanze eigenthümlichen Grenztemperaturen vor sich gehen kann.***)

In gleicher Weise und mit ganz ähnlichen Methoden konnte aber auch schon in früher Zeit eine deutliche Abhängigkeit des in Rede stehenden Processes *vom Lichte* nachgewiesen werden. Damit die Symptome des Zuwachses von organischer Substanz oder der Ausscheidung von Sauerstoffgas beobachtet werden konnten, war es durchaus nothwendig, dass das grüne Organ, mit dem man experimentirte, Licht von einer gewissen Intensität empfing. Im Dunkeln oder auch nur im Dämmerlichte konnte niemals Gewichtszunahme an organischer Trockensubstanz, niemals Zersetzung von Kohlensäure und Ausgabe von Sauerstoff bemerkt werden.

Ich kann durch einen einfachen Versuch, den ich schon vor Beginn der Vorlesung in Gang gesetzt habe, und auf dessen Resultat ich jetzt die Aufmerksamkeit zu lenken bitte, den Beweis für diese Abhängigkeit der Sauerstoffabscheidung vom Lichte führen. Dort am Fenster im hellen Sonnenscheine ist ein umgekehrter mit kohlensäurehaltigem Wasser angefüllter Trichter in einer Wasserwanne aufgestellt. Derselbe enthält zugleich eine grössere Menge frischer lebender grüner Blätter und ist nach Oben zu vermittelst eines Kautschukschlauchs mit einem kleinen Reagenz-

*) Compt. rend. 1869. I. p. 414. Vergl. auch die Angaben von Kraus: Ueber Stärke-Bildung (Oekonom. Fortschr. 1869 p. 236.) — Die Angaben Faucoupret's (Compt. rend. 1864. T. 58 p. 334), wonach die Abhängigkeit der Sauerstoffabscheidung von der Temperatur in eine einfache Formel $Q = A + C t^2$ gebracht werden kann, haben unterdessen keine Bestätigung erfahren, wie sie theoretisch unwahrscheinlich sind.

**) So liegen Angaben von Cloëz und Gratiolet für Wasserpflanzen vor, wonach schon bei + 10° C die sichtbare Sauerstoffentwickelung aufhören soll, was freilich noch nicht die wirkliche Grenze bezeichnet (vergl. Compt. rend. T. 31 p. 626 u. f.).

***) Es ist insofern von Interesse die oberste und unterste Grenztemperatur des Produktionsprocesses zu ermitteln, weil von diesem voraussichtlich Anfang und Ende des organischen Lebens auf der erkaltenden Erde abhängig war und sein wird.

glas verbunden, das den Binnenraum des Trichter von der freien Communication mit der Atmosphäre abschliesst und die Ansammlung des von den Blättern sich entwickelnden Gases gestattet. Es ist deutlich zu ersehen, dass die Gasmenge in dem Reagenzglase in Folge des Aufsteigens der von den Blättern sich ablösenden Gasblasen in der Zunahme begriffen ist, und da bei Beginn des Versuchs auch das Reagenzglas bis obenhin mit Wasser angefüllt war, so rührt die ganze in demselben befindliche Gasmenge von jener Ausscheidung durch die grünen Blätter her.

Ich hebe dort neben dem Apparate einen Pappkasten auf, und es zeigt sich unter demselben ein ganz gleicher Apparat, in dem eben solche Blätter enthalten sind, der sich aber die ganze Zeit über seit Beginn des Versuchs unter dem nach allen Seiten verschlossenen Kasten, im Dunkeln befunden hat; und siehe da, das Reagenzglas in demselben ist noch völlig mit Wasser angefüllt; — kein Gas hat sich in demselben gesammelt.

Ich nehme nun das Reagenzglas des belichtet gewesenen Apparats vorsichtig unter Wasser ab, verschliesse es mit dem Daumen und tauche nun diesen glimmenden Spahn in das gesammelte Gasgemisch. Der Spahn erglüht lebhaft und beginnt mit Flamme zu brennen, eine Reaktion, die nur sehr sauerstoffreiche Gasgemische zeigen, und somit wäre auf eine höchst einfache Weise nachgewiesen, dass auch das Licht eine unentbehrliche Bedingung jenes Produktionsprocesses ist. *)

Nachdem wir in Wärme und Licht so mit Sicherheit Bedingungen der Erzeugung von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle erkannt haben, gehen wir in Verfolgung der aufgeworfenen Frage weiter vor und prüfen jene beiden Agenzien auf ihre Fähigkeit, Arbeit zu leisten.

Es kann nun gar keiner Frage unterworfen sein, denn es ist eine längst erkannte Thatsache, dass beide, Wärme und Licht Formen von Kraft darstellen, und deshalb konnten wir hinter diesen beiden Kräften von vornherein Quellen jener chemischen Arbeitsleistung vermuthen. Allein bei nur etwas präciserer Ausdrucksweise, durch die wir hinsichtlich ihrer Befähigung zur Arbeitsleistung ganz verschiedene Dinge auseinanderzuhalten suchen werden, die man im gewöhnlichen Leben gemeinhin als Wärme bezeichnet, werden wir finden, dass in dem uns vorliegenden Falle *nur in der einen* jener unerlässlichen Bedingungen eine Kraftquelle, befähigt zur chemischen Arbeitsleistung verborgen sein kann. Nach der so vorgenommenen deduktiven Herleitung, werden wir auch für das gewonnene Resultat die experimentelle Bestätigung suchen und finden.

Wir wissen zunächst allerdings, dass Wärme unter gewissen Umständen Arbeit zu leisten im Stande ist d. h. dass die in einem Körper vorhandene Wärme sich vermindern kann, ohne dass dafür ein anderer Körper entsprechend erwärmt wird und dass dabei an Stelle dieser verschwundenen Wärme irgend eine andere Form von Kraft auftritt, die bei jener Arbeitsleistung gleichsam wie die Sehne eines Bogens angespannt wird.

Ein spezieller Fall einer solchen Arbeitsleistung durch die Wärme ist die sogenannte chemische Arbeit. Bei dieser tritt an der Stelle der verschwundenen Wärme eine vorher gesättigte chemische Affinität in freien Zustand auf, oder, wie wir uns

*) Das (viele Algen enthaltende) Meer ist im Sonnenschein reicher an Sauerstoff, ärmer an Kohlensäure als bei bewölktem Himmel. Vergl. Lewy: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 58. p. 326.

gewöhnlich ausdrücken, zwei mit einander chemisch verbundene Körper werden in Freiheit gesetzt, wozu nach unsern früher gegebenen Erläuterungen die Arbeitsleistung in einem Auseinanderreissen der Molekule besteht.

Allein — und nun kommen wir zu einem sehr beachtenswerthen Punkte — wenn man sich im populären Sprechgebrauche so ausdrückt, dass Wärme im Stande sei, in andere Formen von Kraft überzugehen und so eine Arbeit zu leisten, so will man damit nicht ausdrücken, dass ganz beliebige Wärme, die Wärme z. B., die in einem jeden Körper steckt, der eine über den absoluten Nullpunkt erhabene Temperatur besitzt, im Stande sei, diesen Uebergang zu machen. Die Erfahrung lehrt vielmehr, dass dies nicht der Fall ist; und es in selbstverständlich vor Allem zur Beurtheilung der aufgeworfenen Frage nothwendig, sich über die Umstände klar zu werden, unter denen Wärme im Stande ist, diesen Uebergang zu machen, eine Arbeit zu leisten.

Die Erfahrung lehrt, dass *nur Wärme* continuirlich *eine Arbeit zu leisten im Stande ist, die in Form einer Temperaturdifferenz* zweier Körper zur Verfügung steht. Die Construktion einer arbeitenden Maschine (welchen Namen sie auch immer haben mag) nach dem Princip der Dampfmaschine ist undenkbar, wenn nicht zwei Körper vorhanden sind, die in dauernder Temperaturdifferenz sich befinden, entsprechend: Dampfkessel und Condensator, oder bei Hochdruckmaschinen: Dampfkessel und äussere Luft; und es ist eine unerlässliche Bedingung zur Arbeitsbefähigung dieser Maschinen, jene Temperaturdifferenz immer wieder von Neuem herzustellen. Es ist nach unserer Erfahrung ganz und gar unmöglich, etwa die ganze absolute Wärme, *) die einem jeden Körper unserer Umgebung inne wohnt, bis herab zu dessen Erkältung auf den absoluten Nullpunkt zu Arbeitsleistungen zu verbrauchen. Wir sind nur im Stande, die Wärme eines solchen Körpers bis zu seiner Abkühlung auf die Temperatur eines andern neben ihm befindlichen zu diesem Zwecke in Anspruch zu nehmen. **)

*) Siehe Clausius: Ueber den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, ein Vortrag 1867; und Naumann: Grundriss d. Thermochemie 1869. p. 127. In der ersten dieser Schriften findet sich eine ziemlich leicht verständliche theoretische Entwicklung des Satzes, dessen Folgerungen im Texte als Erfahrungssatz zu behandeln, wir uns begnügen mussten.

**) Es darf hier nicht verschwiegen werden, dass gewisse Arbeiten allerdings geleistet werden können durch die „absolute“ Wärme, die ein Körper besitzt, ohne dass eine Temperaturdifferenz vorhanden ist, also dass bei der Arbeitsleistung der Körper sich unter die umgebende Temperatur abkühlt. Dies findet z. B. statt bei Verminderung des Druckes über einer nahe an ihren Siedepunkt erwärmten Flüssigkeit, die alsdann unter Abkühlung den noch auf ihr lastenden Druck zu überwinden, eine Arbeit zu leisten vermag. Dabei ist hervorzuheben, dass jene Druckverminderung ohne eine erhebliche Arbeitsleistung z. B. durch blosses Verschieben eines Gewichtes vorgenommen werden kann.

Allein eine solche Arbeitsleistung unter Abkühlung des sich ausdehnenden Körpers unter die Temperatur seiner Umgebung kann niemals continuirlich werden, da sie kein umkehrbarer Process ist und nicht Bestandtheil eines Kreisprocesses sein kann. Es genügt hier die Bemerkung, dass es auch durch die sinnreichste Zusammenstellung nicht möglich ist, einen Apparat herzustellen, eine Maschine zu erfinden, die fortdauernd durch eine solche Arbeit in Betrieb erhalten wird, und auf diese Weise das billige und unerschöpfliche Reservoir unserer Erde an Wärme zur Umwandlung in mechanische Bewegung zu veranlassen. Es repräsentirt der hier als eine Ausnahme erscheinende Fall in der That keine Einschränkung des im Texte in populärer Form angedeuteten zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie.

Die Sonne z. B. vermag nur desshalb auf der Erde Bewegungserscheinungen hervorzurufen, weil sie wärmer ist als diese. Wären beide von gleicher Temperatur, so würde durch ihre gegenseitige Bestrahlung keine Massenbewegung erzeugt werden können.

Dieser Satz, den wir hier einfach als eine empirisch erkannte Thatsache auffassen wollen, zeigt uns, dass, obwohl eine vollkommene Aequivalenz der verschiedenen Kräfte untereinander besteht, doch der Uebergang dieser Kräfte in einander an gewisse Bedingungen geknüpft ist, dass, während mechanische Bewegung überall mit Leichtigkeit durch Reibung und Stoss den Uebergang in die Molekularbewegung der Wärme zu machen im Stande ist, ganz gewisse Umstände gegeben sein müssen, damit das Umgekehrte stattfinden kann.

Dieses Verhalten ist es unter Anderem, das unsere mathematischen Physiker zu der Annahme drängt, unser Planetensystem, ja die ganze Welt strebe, wegen der stets vorwiegenden Umwandlung in einer Richtung, (einem Maximum der Entropie) einem Zustande der Ruhe zu. Die unerschrockene Consequenz aus den von uns bis jetzt erkannten Gesetzmässigkeiten sagt aus, dass sich die mechanische Bewegung (Massenbewegung) mehr und mehr verliere und alle Kraft des Universums sich mehr und mehr als Wärme (Molekularbewegung) ansammle, bis schliesslich die Temperatur aller Weltkörper sich ausgeglichen habe und kein Anstoss zu irgend einer Bewegung mehr vorhanden sei. Diese Folgerung*) scheint nach der jetzigen Lage der Dinge in der That unvermeidlich zu sein.

Wir kehren jedoch zu unserm Gegenstande zurück und machen für denselben Anwendung von dem eben besprochenen Satze. Wir müssen denselben zunächst zu erweitern suchen und zusehen, ob er auch für chemische Arbeiten Anwendung findet, ob auch die Wärme blos im Stande ist, chemische Arbeiten zu leisten, wenn sie in Form einer Temperaturdifferenz vorhanden ist, oder ob derartige Arbeiten auch stattfinden können auf Kosten der absoluten Wärme, die in irgend einem Körper enthalten ist.

In der That, auch hier lehrt die Erfahrung, dass eine continuirliche chemische Arbeit nur geleistet werden kann, wenn die Wärme in Form von Temperaturdifferenz, oder wenn andere äussere Kräfte vorhanden sind. Es ist keine Zusammenmischung von Stoffen denkbar, bei der eine Vermehrung der innern chemischen Spannkräfte auf Kosten der absoluten Wärme des Gemischs, also eine Abkühlung desselben unter die Temperatur der Umgebung eintritt.

Wir stossen hier auf einen von der Chemie zwar bis jetzt ganz vernachlässigten, aber doch höchst wichtigen Satz von allgemeiner Geltung, der als eine Erweiterung des vorhin ausgesprochenen angesehen werden muss. Derselbe lautet: *Ueberall, wo eine chemische Vereinigung, eine chemische Reaktion im gewöhnlichen Sinne des Worts, stattfindet, verschwinden chemische Spannkräfte, diese treten bei dem Akte der Vereinigung als Wärme auf*; *überall aber, wo* das Umgekehrte einer chemischen Vereinigung, *eine chemische Zersetzung eintritt, müssen entweder äussere*

*) Rankine hat allerdings sie zu umgehen für möglich gehalten, aber Clausius hat gezeigt, dass selbst für die von Jenem gemachten Annahmen, die Umgehung der gemachten Folgerungen unmöglich sei.

In einer weniger klaren Weise hat sich jüngst J. R. Mayer gegen die traurigen Consequenzen seiner berühmten Entdeckung verwahrt. Vergl. Bericht der Naturforscherversammlung 1869 zu Innsbruck, auch: Landw. Centralbl. 1869 B. II. p. 398 u. f.

Kräfte, als da sind, mechanische Bewegung, Licht, Wärme als Temperaturüberschuss, elektrische Kräfte oder stärkere chemische Kräfte vorhanden sein).* Im letzteren Falle ist aber die chemische Zersetzung nur ein Theil des ganzen Vorgangs; es muss eine diese überwiegende chemische Vereinigung gleichzeitig stattfinden, so dass die ganze Erscheinung, in ihrem Zusammenhange betrachtet, gerade wie eine gewöhnliche chemische Vereinigung (eine chemische Reaktion unter Verlust einer gewissen Menge von Spannkräften) angesehen werden muss.

Was im Vorstehenden unter Vereinigung und Zersetzung zweier chemischer Körper verstanden ist, entspricht indessen nicht ganz dem gewöhnlichen Sprachgebrauch, in so fern nach unsern neuern Anschauungen auch die Atome eines einfachen Körpers sich zu Molekulen vereinigen und dabei auch Affinitäten geltend machen. So haben wir es bei den meisten chemichen Vorgängen, die wir gewöhnlich schlechtweg als Vereinigungen zweier vorher getrennter Körper, als Verbindung zweier Elemente bezeichnen, mit chemischen Umsetzungen, d. h. mit gleichzeitiger Zersetzung und Verbindung zu thun, und so kann der Fall eintreten, wenn er auch nicht gerade häufig ist, dass bei einem Vorgang, den wir als Zersetzung zu bezeichnen gewohnt sind, wie z. B. von Schwefelkohlenstoff in Schwefel und Kohlenstoff, noch Wärme frei wird **), weil hier in der That eine neue Verbindung, der Schwefel-Schwefel entsteht, so dass also eine Verbindungsform durch eine andere abgelöst wird, von denen in diesem Falle die letztere eine geringere Summe von chemischen Spannkräften besitzt.

Durch die angestellten Betrachtungen sind wir aber zu dem Ausdruck des in Rede stehenden Satzes in der allgemeinen Form, in welcher wir seiner bedürfen, befähigt. *Niemals vermag die Wärme, die nicht als Temperaturüberschuss vorhanden ist, eine continuirliche Arbeit zu vollziehen, sei diese nun mechanischer oder chemischer Natur.* Um den Uebergang der Wärme in eine andere Form von Kraft dauernd zu ermöglichen, ist es ganz allgemein nothwendig, dass diese Wärme einem Körper angehört, in dessen Umgebung ein kühlerer Körper angetroffen wird und nur die Wärme, die als Temperaturüberschuss des einen Körpers über den andern vorhanden ist, kann zu einem solchen Uebergang gelangen.

*) Dieser Satz, auf dessen weiteres Eingehen hier Verzicht geleistet werden muss, erheischt ebenso wie jener vorhin ausgesprochene, mit dem er im Grunde identisch ist, eine Einschränkung. Es gibt chemische Vereinigungen, wenn auch nicht chemische Verbindungen im engeren Sinne des Worts (Verbindungen nach veränderlichen Verhältnissen im Gegensatz zu Molekular- und Atomverbindungen), bei deren Eintritt eine Temperaturerniedrigung unter die Umgebung erfolgt und wo also die verschwundene Wärme, die sich in vielen Fällen nicht aus der Veränderung der specifischen Wärme erklären lässt, innere chemische Arbeit geleistet haben und eine Anhäufung von Spannkräften stattgefunden haben muss. Derartige Vorgänge sind Auflösungen gewisser fester Körper in gewissen Flüssigkeiten wie z. B. Lösungen von Salzen in Wasser, die sich dann unter Wärmeentwickelung wieder ausscheiden. Allein auch hier lässt sich wie vorhin aussprechen, dass auf dies Verhalten sich keine continuirliche chemische Arbeitsleistung gründen lässt, da, um die Ausscheidung des gelösten Körpers zu vollziehen, das Lösungsmittel durch Verdampfen entfernt werden muss, da, mit anderen Worten, jener Vorgang nicht umkehrbar ist und nicht Bestandtheil eines Kreisprocesses werden kann.

**) Vergl. Naumann: Grundriss der Thermochemie 1869, p. 129.

Daraus folgt aber nun für unsern Zweck unwiderleglich, dass die Eigenwärme der Pflanze unmöglich die Arbeit zu leisten im Stande sein kann, die sich in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzieht, denn die Pflanze pflegt durchschnittlich durchaus nicht wärmer zu sein, als die sie umgebenden Medien. Es folgt, dass es ganz falsch wäre, aus dem Umstand, dass die Pflanze, um jene Arbeit zu vollziehen, sich auf einer gewissen Temperaturstufe befinden muss, den Schluss zu ziehen, die Wärme, deren dis Pflanze bedarf, sei es, welche die Arbeit der Produktion von organischer Substanz vollzieht; denn die Wärme sei ja bekannter Massen fähig, Arbeit zu leisten. — Man sieht, wie wichtig es war, jenem wenig präcisen Sprachgebrauch auf den Grund zu gehen. Derselbe hätte uns bei Unterlassung dieser Vorsichtsmassregel unfehlbar einem grossen Irrthum überliefert. Die Wärme *), obwohl eine unerlässliche Bedingung des von uns betrachteten Processes, ist es also nicht, welche die gesuchte Kraftquelle in sich birgt, und somit werden wir zu der Annahme gedrängt, dass das Licht oder besser die Sonnenstrahlen, worin ja ebenso eine unentbehrliche Bedingung des Produktionsprozesses erkannt wurde, diese Kraftquelle darstellen.

In der That steht dieser Annahme kein solches Hinderniss entgegen, wie wir es für unsere zuerst gehegte Muthmassung angetroffen haben. Die Sonnenstrahlen sind ja eben die Form des Uebergangs des Kraftüberschusses von einem wärmeren Körper zu einem kühleren, von Sonne zu Erde. Hier ist also das Postulat erfüllt, das uns bei der soeben angestellten Untersuchung unverrückbar entgegen getreten ist. Wir wissen auch mit voller Bestimmtheit, dass solche Strahlen mechanische und chemische Arbeit zu leisten vermögen. Zum Beleg für die letztere Behauptung erinnere ich nur an die Zerlegung chemischer Verbindungen, wie z. B. der Silbersalze durch das Sonnenlicht oder andere intensive Lichtquellen (wie das Magnesiumlicht) also an einen chemischen Process, bei dem zweifelsohne eine Anhäufung chemischer Spannkräfte sich vollzieht und der daher als eine chemische Arbeit aufzufassen ist, während die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Hebung der erwärmten Luft ein Beispiel für ihre Befähigung zur mechanischen Arbeit, in diesem Falle Erzeugung der Winde abgibt.

Wir sind so unter Zugrundelegung der allgemeinen Sätze über das Princip der Erhaltung der Kraft zu dem Schlusse gelangt, dass von den beiden Bedingungen des Produktionsprocesses, die als Kraftformen betrachtet werden müssen, nur das Licht und nicht die Wärme, oder schärfer, nur die Strahlen und nicht die absolute Wärme die Kraftquelle sein können, welche die zu diesem Processe nothwendige chemische Arbeit leistet und so der Ursprung derjenigen Kräfte wird, die bei dem umgekehrten Processe der Verbrennung der gebildeten organischen Substanz wieder zu Tage treten.

Ich habe nach dieser Herleitung nun aber auch experimentelle Belege für diesen

*) Häufig wird zwar geradezu von einer Bindung von Wärme bei der Sauerstoffabscheidung durch die Pflanzen gesprochen. (Vergl. Sachs: Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 49 und Fick: Die Naturkräfte in ihrer Wechselbeziehung 1869 p. 41.) Dies darf jedoch nur so verstanden werden, dass die Sonnenstrahlen weniger Wärme in den thätigen grünen Blättern erzeugen, als sie auf einer todten Substanz von gleichem Absorptionsvermögen und sonstigen gleichen Eigenschaften erzeugen würden, nicht als eine Bindung der im Blatte vorhandenen Wärme, so dass sich dieses in Folge davon unter die Temperatur der Umgebung abkühlen könnte.

Sachverhalt beizubringen versprochen, und dieselben liegen in der That sehr vollständig vor.

Es ist bekannt, dass wenn von irgend einer Kraft eine Arbeit verrichtet wird, eine genaue Proportionalität bestehen muss zwischen der Grösse der wirklich zur Leistung in Anspruch genommenen Kraft *) und dem Effekt der Leistung. Wir wissen z. B., wenn wir zuerst wieder von der chemischen Arbeit absehen, dass genau die doppelte Kraft dazu erforderlich ist, zwei Pfund über eine gewisse Höhe zu heben, als ein Pfund über die nemliche Höhe. Die Anzahl der gehobenen Pfunde können als Mass für die verwendete Kraft benutzt werden.

Ganz dasselbe muss natürlich auch für andere Arbeiten, z. B. für die chemische Arbeit gelten, die bei der Produktion der organischen Substanz vollzogen wird. Auch hier muss die Anzahl der losgetrennten Molekule Sauerstoff (vorausgesetzt allerdings, dass die vollzogene Arbeit einerlei Natur ist **) proportional sein der zur Wirksamkeit gelangenden Menge von Kraft ***). Die Quantität des producirten Sauerstoffs oder auch der gebildeten organischen Substanz muss also proportional sein der zur Wirksamkeit gelangenden Menge von Kraft.

Dass für die Wärme nun eine solche Proportionalität nicht bestehen kann, ist leicht daraus ersichtlich, dass die Abhängigkeit der Produktionsarbeit von der Wärme nur in so fern besteht, als dieser Process innerhalb zweier Grenztemperaturen vor sich geht, dass also die Menge des producirten Sauerstoffs nicht gleichmässig ansteigt mit der gleichmässig wachsenden Wärmemenge.

Für das Licht ist nun aber eine solche Proportionalität experimentell erwiesen worden, ohne dass freilich der Versuchsansteller zu dem vorliegenden Zwecke gearbeitet hätte, noch überhaupt die Wichtigkeit des von ihm beigebrachten Nachweises geahnt zu haben scheint.

Auf den ersten Blick erscheint allerdings die Beibringung eines derartigen Nachweises, ausser der Möglichkeit, die geleistete chemische Arbeit zu messen (wofür wir einige, wenn auch noch ziemlich rohe Methoden besitzen) auch noch die Möglichkeit vorauszusetzen, die Intensität des die Arbeit vollziehenden Lichtes zu messen, — eine Voraussetzung, die nur für gewisse Strahlengattungen unter sich (z. B. für die chemischen Strahlen durch die Bunsen-Roscoe'sche Methoden), zutrifft, nicht aber für ganz verschiedene Strahlengattungen in Bezug auf einander; und dies müsste der Fall sein, da, wie wir in der nächsten Vorlesung sehen werden, verschiedene, wenn auch begrenzte Strahlengattungen sich an der chemischen Arbeit der Produktion von organischer Substanz betheiligen.

*) Auf dieser Voraussetzung beruht sogar die Definition des Wortes „Kraft."

**) Wäre dies nicht der Fall, so müsste die Verbrennungswärme des ganzen Complexes von ungleichartigen organischen Substanzen als Mass der Arbeit gewählt werden.

***) Bei der mechanischen Arbeit wird ausser der Masse des gehobenen Körpers auch noch die Höhe berücksichtigt, auf die er gehoben wurde. Das Produkt beider Faktoren bildet ein Mass für die Arbeitsleistung. — Bei der chemischen Arbeit fällt der Faktor der Höhe weg, und die Menge des zersetzten Körpers kann direkt als Arbeitsmass benutzt werden, da der abgeschiedene Körper, dessen Anziehungskraft zu einem andern überwunden worden ist, sehr bald aus der Anziehungssphäre dieses anderen Körpers gelangt, von wo an kein Widerstand mehr überwunden zu werden braucht, also gleichsam der abgeschiedene Körper immer auf dieselbe Höhe gehoben wird.

v. Wolkoff*) hat nun aber ein Verfahren eingeschlagen, bei dem diese Schwierigkeit vollständig umgangen wurde. Derselbe war, vermittelst eines gleich zu beschreibenden Apparats in der Lage, ganz beliebige und kontrolirbare Intensitäts-Aenderungen in der Gesammtmenge des verwendeten complexen Strahlengemischs vorzunehmen, in einer Weise, dass er sicher war, für jede einzelne jenes Gemisch zusammensetzende Strahlengattung proportionale Intensitätsänderungen vorzunehmen. Derselbe hatte es also mit relativ unter sich vergleichbaren Mengen von Strahlen, auch der auf Sauerstoffabscheidung wirkenden, zu thun und konnte nun mit diesen relativen Zahlen, die Sauerstoffmengen, die sich entwickelten und gemessen werden konnten, vergleichen.

Es ist für unsere Darlegung ganz und gar gleichgültig, dass v. Wolkoff den Versuch vielleicht nicht ganz in der von uns gehegten Absicht angestellt hat. Das Ergebniss desselben ist als eine experimentelle Bestätigung eines sehr wichtigen Satzes der Pflanzenphysiologie anzusehen, des Satzes, dass lediglich das in die grüne Zelle fallende *Licht* die chemische Arbeit der Produktion der organischen Substanz vollzieht.

Der Versuch selbst wurde der Art angestellt, dass eine lebende grüne, in kohlensäurehaltigem Wasser untergetauchte Wasserpflanze, deren Sauerstoffausscheidung durch Zählen der entweichenden Gas-Blasen mit zureichender Genauigkeit ermittelt werden konnte, in einem von allen Seiten geschlossenen mit einem Schlittenapparate versehenen Kasten sich befand. Der Innenraum dieses letzteren empfing Licht durch eine matte Glasscheibe, und die Pflanze, deren Gasabscheidung von Aussen zu beobachten möglich war, konnte durch den Schlitten in eine beliebige Entfernung von der Glasscheibe, die für jene als Lichtquelle betrachtet werden konnte, eingestellt werden. Bei jeder Einstellung war es nun aber möglich, die Menge der chemischen Strahlen für die Entfernung der Pflanze von der leuchtenden Fläche zu ermitteln und, da für alle Strahlengattungen *proportionale* Intensitätsänderungen **) unter diesen Umständen erfolgen mussten, so konnten jene chemischen Lichtintensitäten zugleich auch als Mass für die Intensität irgend einer andern Strahlengattung, also auch der in der Pflanze die Produktionsarbeit leistenden gelten.

Es gelang auf diese Weise in durchaus befriedigender Weise, *die Proportionalität der Sauerstoffmengen mit den Belichtungsintensitäten* zu demonstriren ***).

*) Pringsheim: Jahrbücher V, p. 12 u. f.

**) Die Versuche erstreckten sich nur über Zeiträume, in denen erfahrungsmässig keine erheblichen Aenderungen in dem relativen Gehalt des äusseren Lichtes an einzelnen Strahlengattungen eintreten.

***) Um eine Vorstellung von der erlangten Uebereinstimmung zu geben, führe ich folgende Zahlen aus Wolkoff's Versuchsreihen an.

Ceratophyllum demersum.

	Gemessene Lichtintensität.	Zahl der Blasen pro Min.	Quotient.
I. Versuchsreihe	80	16	5,0
	120	25	4,8
	200	41	4,8
VI. Versuchsreihe	100	25	4,0
	200	50	4,0
	150	36	4,1
	120	30	4,0

So ist denn durch diese Versuche die experimentelle Bestätigung eines wichtigen Satzes der Pflanzenphysiologie beigebracht worden, zu dem man schon lange vorher auf deduktivem Wege gelangt war. *Das Licht,* welches schon in früher Zeit, schon in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts, also zur Zeit der Entdeckung des Sauerstoffs von Ingen-Housz als eine der Bedingungen der Thätigkeit der grünen Blätter erkannt worden war, *ist diejenige Kraft, welche die zu dem Processe der Erzeugung von organischer Substanz nothwendige Arbeit leistet.* Nach der Ausdrucksweise der Lehre von der Aequivalenz der Kräfte geht dabei die aktuelle Energie, die lebendige Kraft des Lichts in die potentielle Energie. die chemische Spannkraft der gebildeten organischen Substanz einerseits und des entbundenen Sauerstoffs andererseits über. Organische Substanz und Sauerstoff besitzen Affinität zu einander, die aber nicht unter allen Umständen Befriedigung findet. Erst durch das Verbringen dieser Körper auf ihre sogenannte Entzündungstemperatur wird gleichsam der Riegel wieder weggeschoben, der ihre Vereinigung hindert und alsdann geht die so „ausgelöste" chemische Spannkraft wieder über in lebendige Kraft, in die aktuelle Energie der nun auftretenden Wärme. Diese Wärme kann nun wieder unter den vorhin angegebenen Einschränkungen, d. h. soweit sie als Temperaturdifferenz vorhanden ist, übergehen in andere Formen von Kraft, z. B. in elektrische Kraft, wenn ich sie auf die Löthstellen eines Systems ungleichartiger Metallstücke, auf die thermo-elektrische Säule wirken lasse, oder in mechanische Arbeit, wenn ich jene Verbrennung unter dem Kessel einer Dampfmaschine oder auch im thierischen Muskel vor sich gehen lasse. Dieselbe kann unter diesen letzteren Umständen, je nach der mit der Dampfmaschine oder dem Muskel in Verbindung gesetzten Vorrichtung benutzt werden zur Hebung von Gewichten und dergleichen, und so wieder in potentielle Energie, in mechanische Spannkraft übergehen oder auch, wenn ich mit ihrer Hülfe ein Schwungrad in Bewegung setze, im Zustand der aktuellen Energie verbleiben, in der Form der lebendigen Kraft eines mechanisch bewegten Körpers. Diese mechanische Bewegung geht nun durch Reibung wieder in Wärme über u. s. w.

Dies sind keine müssigen Betrachtungen. Es ist gerade für unsern Zweck von hervorragender Wichtigkeit, sich klar zu werden über die verschiedenen Formen des Uebergangs der einzelnen Kräfte in einander. Es wird sich in der Folge zeigen, dass manch' eine Theorie auf dem Gebiete unserer Wissenschaft sich gegen diese Gesetzmässigkeiten versündigt hat.

Bei Verfolgung der Uebergänge, den die einzelnen Kräfte, welche wir unterscheiden, zu machen im Stande sind und täglich vor unsern Augen machen, entrollt sich uns das schöne Bild von der Wechselwirkung der Naturkräfte, welches Helmholtz in seiner Abhandlung*) gleichen Namens so meisterhaft skizzirt hat und das seitdem so oft Gegenstand populär-naturwissenschaftlicher Darstellungen geworden ist. *Die chemische Arbeit, welche das Licht in der grünen Pflanze vollzieht, spielt eine ganz hervorragende Rolle unter diesen Uebergängen.* Alle mechanische Arbeit auf unserer Erdoberfläche, die von Organismen ausgeht, also die Bewegung dieser Organismen selbst, sowie die mechanischen Veränderungen, die sie an Aussen-

*) Helmholtz: Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte. 1854.

dingen vollziehen, alle mechanische Arbeit, die von Dampfmaschinen, calorischen Maschinen etc. geleistet wird, alle thierische Wärme, wie alle sonstige Wärme, die durch Verbrennung organischer Substanzen entwickelt wird, und endlich alle Wärme, die bei der Reibung der eben verzeichneten Bewegungserscheinungen entbunden wird, — alle diese mannigfaltigen Kräfte und Arbeitsleistungen sind den Weg durch die chlorophyllhaltige Zelle gegangen und entstammen mittelbar oder unmittelbar der chemischen Arbeit, welche die Sonnenstrahlen in jenem unscheinbaren Apparat verrichtet haben.

Knop erzählt in seinem Lehrbuche der Agrikulturchemie *) im ersten Kapitel, wo ganz allgemein von dem Uebergange der Kräfte in einander die Rede ist, folgende interessante Anekdote, die er der Biographie des älteren Stephenson **), des Erfinders der Locomotive entlehnt, ohne dass jedoch in jenem reichhaltigen Lehrbuche eingehender von der Art des Uebergangs der Kräfte des Sonnenlichts in die chemischen Kräfte der organischen Substanzen die Rede wäre ***).

„Eines Sonntags, als man eben aus der Kirche zurückgekommen war, stand „die ganze Gesellschaft und unter ihr Stephenson und Buckland auf der „Terasse neben dem Schlosse Drayton und schaute einem Bahnzug nach der „in der Ferne blitzschnell vorüberflog und einen langen Streifen weissen „Dampfes hinter sich liess. «Nun Buckland!» wandte Stephenson sich zu „dem berühmten Geologen, «nun sollen Sie mir eine Frage beantworten, die „vielleicht nicht ganz leicht ist. Können Sie mir sagen, welcher Art die Kraft „ist, die jenen Zug dort fortbewegt?» «Nun,» erwiederte der Geologe, «ich „sollte meinen, die bewegende Kraft ist eine Ihrer grossen Maschinen.» «Ja, „aber was treibt die Maschine?» «Oh! höchst wahrscheinlich einer Eurer „Newcastl'er Locomotivenführer». «Nein, das Sonnenlicht!» «Wie kann „das sein?» fragte der Doctor. «Ich sage Ihnen, es ist Nichts Anderes,» entgegnete der Ingenieur: «es ist Licht, das seit vielen Tausenden von Jahren „in der Erde aufbewahrt liegt; Licht, das von Pflanzen absorbirt wird, ist zur „Verdichtung des Kohlenstoffs während ihres Wachsthums nöthig, und nachdem „dieses Licht so lange Jahre in Kohlenfeldern begraben gewesen, wird es wieder „zu Tage gefördert und muss, frei gemacht, wie bei dieser Locomotive, grossen „menschlichen Zwecken dienen»".

Der grosse Erfinder der Locomotive hat also schon den Zusammenhang erkannt, den wir jetzt in exakterer Form darzulegen im Stande sind †).

*) Knop: Kreisl. d. Stoffs. Leipzig 1868. I. p. 54.

**) Biographien berühmter Entdecker der Neuzeit. 1859. p. 457.

***) Vergl. A. a. O. I. p. 52, 53 u. 536, 537.

†) Auch der Entdecker des Gesetzes der Erhaltung der Kraft: J. R. Mayer erkannte schon in voller Klarheit den von uns dargelegten Zusammenhang: er schrieb in einer seiner Abhandlungen „über die organische Bewegung" die Worte nieder:

„Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenz erzeugen."

In der That entstammen unter allen den mannigfaltigen Bewegungserscheinungen auf der Erdoberfläche nur diejenigen, welche sich auf Ebbe und Fluth (von Wasser, Luft und Festland) oder auf weitere Verdichtung unseres Erdballs zurückführen lassen, nicht der Kraftquelle der Sonnenstrahlen. Die ersteren gehen bekanntlich auf Kosten der lebendigen Kraft der Erde selbst, auf Kosten ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit von Statten.

Es gibt indessen — und darauf muss hier noch kurz hingedeutet werden — eine andere grosse Klasse von Bewegungserscheinungen auf unserer Erdoberfläche, die zwar auch ihren Ursprung auf die Sonnenstrahlen zurückleiten, aber nicht den Weg durch die chemische Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle gemacht haben, sondern durch die direkt wärmende Wirkung der Sonnenstrahlen in's Werk gesetzt werden. Dahin gehören der Kreislauf der Luft (die Bewegung der Winde) und der Kreislauf des Wassers durch Atmosphäre und Weltmeer, Gegenstände, die für unsere spätere Darstellung von einiger Bedeutung sind.

Werfen wir zum Schluss der heutigen Vorlesung nur noch einen kurzen geschichtlichen Rückblick auf die Reihenfolge der Entdeckungen, die zu der heute behandelten Erkenntniss geführt haben. Die continuirliche Erweiterung und Ergänzung derselben verschafft uns hier besser als bei vielen anderen Errungenschaften ein Bild von der historischen Entwickelung unserer Anschauungen.

Die an sich leicht zu beobachtende Thatsache, *dass grüne Pflanzen* im Wasser liegend und *von der Sonne beschienen ein Gas ausscheiden*, wurde schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts von Bonnet*) beschrieben und zu deuten versucht; dass aber diese Deutung, die sich auch auf die gleichzeitige Beobachtung stützte, dass in ausgekochtem Wasser diese Ausscheidung unterblieb, eine Thatsache, die uns heute wegen des Mangels der Kohlensäure in solchem Wasser leicht verständlich ist, unrichtig bleiben musste, kann uns namentlich bei dem damaligen Zustande der Chemie zwanzig Jahre vor der Entdeckung des Sauerstoffs nicht befremden.

Merkwürdig in der Geschichte der Erkenntniss des nun erkannten Zusammenhangs und auch von Interesse für die Entwickelungsgeschichte der Chemie ist es, dass Pristley schon einige Jahre vor seiner Entdeckung des Sauerstoffs die wichtige Thatsache beobachtete, dass grüne Pflanzentheile, der Sonne ausgesetzt, im Stande sind, *eine durch thierische Athmung verdorbene Luft wieder für das Athmen tauglich zu machen*, also den reciproken Gasaustausch von Thier und grüner Pflanze so vollständig erkannte, als er überhaupt ohne genaue Kenntniss der dabei betheiligten Gasarten zu erkennen war.

Die eigentliche klar ausgesprochene Entdeckung des thatsächlichen Vorgangs muss jedoch Jngen-Housz, dessen Werk**) auch heute noch mit grossem Genuss

„Diese Organismen sind Pflanzen. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixirt und zur Nutzniessung geschickt niedergelegt werden; eine ökonomische Fürsorge, an welche die physische Existenz des Menschengeschlechtes unzertrennlich geknüpft ist und die bei der Anschauung einer reichen Vegetation in jedem Auge ein instinktartiges Wohlgefallen erregt."

*) Bonnet: Sur l'usage des feuilles. 1752.

**) S. Jngen-Housz: Versuche mit Pflanzen etc., deutsch v. Scherer. Wien 1786.

gelesen werden kann, um das Ende der 70er Jahre zugestanden werden. Derselbe hatte eine grosse Anzahl von Versuchen angestellt und kam zu dem Schlusse, dass die grüne Pflanze *nur im Sonnenlichte* „dephlogistisirte Luft" (wie er den Sauerstoff noch nennt) aushaucht, in der Dunkelheit dagegen selbst bei grosser Wärme*) dagegen „ungesunde Luft" ausgibt und dass die *nicht grüngefärbten Pflanzentheile* auch im Sonnenlicht keinen Sauerstoff liefern.

In diesen Sätzen lag offenbar schon im Wesentlichen unsere jetzige Erkenntniss. Doch konnte man noch fragen, woher denn der Sauerstoff stamme, der von den grünen Pflanzen unter den angegebenen Bedingungen ausgeschieden werde; und diese Frage beantwortete wenige Jahre später Sennebier, welcher durch Versuche zeigte, dass *die Anwesenheit von Kohlensäure eine unerlässliche Bedingung* sei, damit von der grünen Pflanze im Sonnenlichte Sauerstoff ausgegeben werde. Damit erwies sich also der ausgehauchte Sauerstoff als ein Zersetzungsprodukt der Kohlensäure und die von Bonnet beobachtete Unwirksamkeit des ausgekochten Wassers hatte ihre Erklärung gefunden.

Jetzt erst wusste man, auf Kosten von welchem Oxyde der Reduktionsprocess vor sich ging, und konnte den Schluss machen, dass gleichzeitig mit jener Sauerstoffabscheidung in der grünen Pflanze neue organische Subtsanz gebildet werden müsse. Den experimentellen Nachweis der Richtigkeit dieses Schlusses hat indessen erst de Saussure**) an der Grenzscheide unseres Jahrhunderts geliefert, indem er neben vielen anderen Dingen, die zu unserm Gegenstand in keiner direkten Beziehung stehen, zeigte, dass gleichzeitig mit der Sauerstoffausscheidung die Pflanze an organischer Trockensubstanz zunimmt.

Das weitere Verständniss der schon so frühe gemachten Entdeckung in Bezug auf den Kräfteaustausch, welchen wir heute so ausführlich behandelt haben, gehört erst der allerneuesten Zeit an und ist, wie aus der Darstellung hervorgeht, die Frucht unserer Erkenntniss der Unzerstörbarkeit der Kraft.

Dritte Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Die Betheiligung der einzelnen Strahlengattungen an diesem Processe.

Unter den Bedingungen der Entstehung der organischen Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle haben wir bisher kennen gelernt: die Anwesenheit der Rohstoffe dieser Produktion, das Vorhandensein einer bestimmten (doch nicht für jeden wirksamen Apparat gleichwerthigen) Temperatur, die Verfügung über eine Kraftquelle, das *Sonnenlicht.*

Wir haben schon in der letzten Vorlesung angedeutet, dass die Bezeichnung Licht oder Sonnenlicht etwas vage ist. Licht und Sonnenlicht stellt im Allgemeinen ein Gemenge dar von Strahlen sehr verschiedener Brechbarkeit und ausserordentlich

*) Vergl. A. a. O. p. 39.

**) Recherches chimiques sur la végétation. 1804.

verschiedener Wirkungen. Ein Theil eines solchen Strahlengemischs ist besonders befähigt, chemische Veränderungen zu bewirken; ein andrer Theil die Glasflüssigkeit unseres Auges zu durchdringen und auf unsere Sehnerven den Eindruck der Lichtempfindung hervorzurufen; ein dritter Theil erleidet sehr leicht Absorption von gewissen Körpern und erwärmt dabei dieselben.

Allein die Wirkungsweise der einzelnen Strahlenarten kann nicht strenge von einander unterschieden werden. Manche Strahlen sind gleichzeitig dieser verschiedenen Wirkungen fähig. Dieselben Strahlen, die auf unser Auge wirken, sind grossentheils befähigt, bei Berührung mit manchen Körpern Absorption zu erleiden und Wärmewirkungen zu veranlassen; und desshalb ist die Unterscheidung zwischen Licht und Wärmestrahlen streng nicht zulässig. In gleicher Weise sind aber auch Strahlen, für die unser Auge empfänglich ist, theilweise befähigt, chemische Veränderungen zu bewirken, und so ist es auch hier unmöglich, eine unverrückbare Grenze zu ziehen.

So viel ist jedoch festzustellen und allgemein bekannt, dass die *brechbarsten Strahlen,* die auf unser Auge eine violette Empfindung oder überhaupt keine Empfindung mehr hervorrufen, die sogenannten violetten und ultravioletten Strahlen besonders *chemische Wirkungen* zeigen, dass die Strahlen von *mittlerer Brechbarkeit* am Meisten *Lichtempfindung* auf unserer Netzhaut hervorzurufen vermögen und dass wir daselbst die Strahlen verschiedener Brechbarkeit kraft des sogenannten farbigen Sehens verschieden empfinden, und dass endlich die *wenigst brechbaren Strahlen* des sichtbaren Spektrums und die noch weniger brechbaren des unsichtbaren es vorzugsweise sind, die auf gewisse Körper fallend *Absorption erleiden* und dieselben *erwärmen.*

So hat die Eintheilung der Lichtstrahlen in *chemische Strahlen, leuchtende Strahlen* und *Wärmestrahlen,* trotzdem, dass manche Strahlen *gleichzeitig* chemische und leuchtende Strahlen, manche andere gleichzeitig leuchtende und Wärme-Strahlen sind, und selbst einige chemische unter Umständen Wärmewirkungen veranlassen können, eine gewisse Bedeutung.

Die Ursache dieses verschiedenen Verhaltens der Strahlen verschiedener Brechbarkeit ist nicht aufgeklärt.

Für unseren Zweck ist dieses Verhalten der verschiedenen Lichtstrahlen nur desshalb interessant, weil wir uns unmöglich mit den durch unsere bisherigen Betrachtungen festgestellten Beziehungen zwischen Lichtstrahlen und der chemischen Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle begnügen können. Wir werden auch sehen, dass es allgemeinerer Gesichtspunkte wegen wichtig ist, die Frage zu erörtern, welche Strahlen sich bei der Produktionsarbeit betheiligen.

Lassen Sie uns auch hier wieder das bisher schon befolgte Verfahren einschlagen, zuerst zu sehen, in wiefern wir uns über die gestellte Frage durch deduktive Herleitung aus schon erkannten Gesetzmässigkeiten Aufschluss verschaffen können, um nachher die experimentelle Bestätigung für unsere Herleitung zu suchen.

Es ist zunächst bekannt, dass Lichtstrahlen auch ausserhalb der chlorophyllhaltigen Zelle chemische Arbeiten zu leisten vermögen, d. h. nach der von uns gegebenen Erläuterung, chemische Processe einzuleiten vermögen, bei denen ein Zuwachs von chemischer Spannkraft eintritt, während gleichzeitig Licht als solches

verloren geht. Solche chemische Arbeiten sind daher im Allgemeinen nach der Redeweise der Chemie Zersetzungserscheinungen, weil bei der Umkehrung dieser Processe, bei den Verbindungserscheinungen Wärme aufzutreten pflegt, wie wir dies für einen speziellen Fall, für die Verbrennungen schon kennen gelernt haben. Diesem Austritt von Wärme entspricht natürlich, und wie wir in der letzten Vorlesung ausdrücklich hervorgehoben haben, der Verlust an chemischer Spannkraft.

Daraus ging hervor, dass bei all' den chemischen Reaktionen im gewöhnlichen Sinne des Worts, bei denen keine äussere Kraftquelle, also mechanische Bewegung, Licht, Temperaturdifferenz, elektrische Kräfte etc. zur Verfügung steht, auch keine Aufspeicherung von chemischen Spannkräften stattfinden kann, sondern dass sie Processe sind, die vom Standpunkt des Princips der Erhaltung der Kraft aus zu derselben Klasse gehören wie die Verbrennungserscheinungen, und dass daher bei Vollziehung derselben keine chemische Arbeit geleistet wird. Wenn es nun nichtsdestoweniger auf rein chemischem Wege, d. h. ohne Hinzuziehung von von Aussen stammenden Kräften möglich ist, Reduktionen vorzunehmen, so kann dies eben nur geschehen, indem die betreffende chemische Arbeit, wie schon früher beiläufig erwähnt, durch eine andere schon vorhandene chemische Spannkraft geleistet wird, die dabei in demselben Masse verloren geht, so dass, wenn man den ganzen Prozess als zusammengehörig betrachtet, keine chemische Spannkraft gewonnen, keine chemische Arbeit geleistet ist.

Für den Oxydations- und Reduktions-Process sind uns diese Anschauungen einigermassen geläufig. Es ist bekanntlich leicht möglich, auf rein chemischem Wege beliebige Metallreduktionen vorzunehmen, aber nur, wenn ich einen andern Stoff, gewöhnlich Kohle, der eine noch grössere Affinität zum Sauerstoff besitzt, gleichzeitig oxydire. Hier wird die chemische Arbeit durch chemische Spannkraft geleistet, also, wenn man den Process im Grossen und Ganzen betrachtet, keine chemische Arbeit geleistet. Das ganze System von bei einer solchen Reaktion gegenwärtigen chemischen Verbindungen kann dabei Nichts an chemischer Spannkraft gewinnen oder, wie man sich bei diesem Beispiel ausdrücken kann, keinen Zuwachs an Verbrennungswärme erleiden, sondern nur eine Abnahme *).

Wenn dagegen äussere Kräfte, wie z. B. elektrische Kräfte zur Verfügung stehen, dann gelingt es auch, solche Zersetzungen vorzunehmen (so dass eine Anhäufung von chemischen Spannkräften stattfindet unter gleichzeitigem Verbrauch von elektrischen Kräften), d. i. mit Hülfe dieser Kräfte chemische Arbeit zu leisten. Auf diese Weise ist es dann leicht möglich, Reduktion von Wasser oder Metalloxyden zu bewirken ohne gleichzeitige Oxydation eines andern Körpers.

Diese Scheidung der chemischen Reaktionen in zwei verschiedene Klassen, die vom Standpunkt der Verwandlung der Kräfte in einander sich geradezu entgegengesetzt sind, ist für den Zweck, den wir gerade verfolgen, durchaus nothwendig.

*) Ein abweichendes Verhalten scheint jedoch zu bestehen bei der Lösung gewisser Salze in verschiedenen Flüssigkeiten, wie früher erwähnt wurde. Hier findet ein Zuwachs von inneren Spannkräften auf Kosten der Eigenwärme statt, ein theoretisch schwierig zu erläuterndes Verhalten, das indessen die gemachten Folgerungen nicht alterirt. Vergl. übrigens Naumann: Grundriss der Thermochemie 1869, p. 106.

Leider wird in der reinen Chemie diesen Verhältnissen viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt.

Wir wissen nun, dass zur Vollziehung der einen Klasse jener Erscheinungen, die wir als chemische Arbeiten bezeichnet haben und die im Allgemeinen mit den sogenannten chemischen Zersetzungsprocessen identisch sind*), das Vorhandensein äusserer Arbeitskräfte nöthig ist. Das Licht, das eine solche Arbeitskraft darstellt, vermag, wie gesagt, auch ausserhalb der chlorophyllhaltigen Zelle chemische Arbeiten zu verrichten. Das populärste Beispiel für die Verrichtung chemischer Arbeiten durch das Licht ist die Zersetzung gewisser Silbersalze — die bekannte photographische Wirkung des Lichts. Diese Wirkung zeigt das Licht, wie wir Alle wissen, ohne jeden complicirten Apparat. Ein Silbersalz, dem Lichte dargeboten, schwärzt sich, und bei dieser Schwärzung tritt eine Zerlegung ein, die einer Anhäufung von chemischen Spannkräften entspricht.

Wenn wir nun nachfragen, welche Strahlen es sind, die in diesem Falle die chemische Arbeit vollziehen, so erhalten wir die Antwort, dass nicht alle Strahlen des Strahlengemischs, welches wir weisses Licht nennen, in gleicher Weise diese Wirkung auszuüben vermögen, sondern dass ganz gewisse Strahlengattungen und zwar die *brechbarsten*, die *violetten* und *ultravioletten* ganz vorzugsweise zu der in Rede stehenden chemischen Arbeit der Zerlegung der Silbersalze befähigt sind. Diese Strahlen haben ja eben aus dem Grunde den Namen „chemische" Strahlen erhalten, weil sie ganz besonders zu chemischen Wirkungen geeignet schienen.

Dazu kommt, dass genau dieselben Strahlengattungen auch andere ähnliche chemische Wirkungen zeigten. Wir haben es zwar in der Verbindung von Chlorknallgas mit einer chemischen Erscheinung der anderen Klasse zu thun, mit einer wirklichen Verbindungserscheinung unter Einbusse von chemischen Spannkräften und nicht mit einer chemischen Arbeit. Es ist dies eine chemische Reaktion, bei der viel Wärme frei wird, eine Reaktion, die sich in Folge des Freiwerdens von Wärme sogar bis zur Explosion steigern kann, wenn nemlich Gelegenheit gegeben ist, dass diese Wärme sich bis zur Entzündungstemperatur des Gasgemischs anhäuft — ein Verhalten, wie es selbstredend bei der anderen Klasse von chemischen Erscheinungen niemals eintreffen kann. Die Rolle, die bei diesem Processe das Licht spielt, ist also eine etwas abweichende**). Auch hier leistet dasselbe eine Arbeit; aber nicht in der Vollziehung jener Reaktion steckt jene Arbeit, sondern das Licht spielt hier eine ähnliche Rolle, wie die Wärme, die man einem verbrennlichen Körper zuführt, wenn man ihn auf die Entzündungstemperatur erhitzt. Das Chlor scheint durch die Belichtung in eine leichter der Verbindung mit Wasserstoff zugängliche Modification überzugehen, während gleichzeitig chemische Spannkräfte in demselben angehäuft werden, so dass es eine höhere Verbindungswärme besitzt, als das unbelichtete Chlor***), und bei der stattfindenden Vereinigung ein Plus von Wärme auftritt, worin dann die vom Lichte geleistete Arbeit wieder zum Vorschein kommt.

---

*) Vergl. die vorhergehende Vorlesung p. 27.

**) Aehnlich muss jedenfalls auch die Rolle des Lichtes beim Bleichen und der Einleitung vieler anderer Verbindungsprocesse aufgefasst werden.

***) Vergl. Favre u. Silbermann (Jahresber. d. Chemie 1847—48 p. 221), nach deren

Die Zeit, die uns zur Verfügung steht, und der Zweck dieser Vorlesungen gestattet uns nicht, näher auf dies interessante Verhalten einzugehen, aber so viel erschien mir zu erwähnen nothwendig, um die Confusion des eben besprochenen Processes mit der Wirkung des Lichts auf Silbersalze, der ich oft begegnet bin, zu vermeiden. Wir haben hier nur hervorzuheben, dass es dieselben leicht brechbaren Strahlen sind, die auch die etwas verkappte chemische Arbeit bei der Vereinigung von Chlor und Wasserstoff zu leisten berufen sind, während man durch leicht auszuführende Experimente zu zeigen im Stande ist, dass die weniger brechbaren Strahlen, die grünen, gelben, rothen und die dunkeln Wärmestrahlen zu dieser Leistung mehr und mehr unfähig sind.

Unter solchen Umständen musste es schon frühe auffallend erscheinen, dass zu den verschiedenen chemischen Wirkungen, die das Licht auszuüben fähig war, stets dieselben Strahlengattungen nothwendig waren, Man bildete sich naturgemäss die Anschauung, als ob ganz bestimmte Strahlen, die man eben in den verschiedenen Fällen als wirksam erkannt hatte, allein die Fähigkeit besässen, chemische Veränderungen zu bewirken, und diese Anschauung war nach und nach so sehr zum Dogma geworden, dass man von jenen Strahlen nur noch unter dem Ausdruck „chemische Strahlen" sprach.

Es waren zwar schon einzelne Thatsachen, die gegen eine ganz vollständige Coincidenz der bei den verschiedenen Processen wirksamen Strahlengattungen sprachen, in früher Zeit bekannt. So wusste man, dass die Zersetzung des Bromsilbers schon von den Strahlen, die der Fraunhofer'schen Linie F zunächst liegen, eingeleitet wird, während die gleiche Wirkung auf Jodsilber erst von den weit brechbareren Strahlen bei G anfängt hervorgebracht zu werden *); und auch in der Photographie will man ganz ähnliche Beobachtungen gemacht haben. Doch schienen diese Abweichungen zu geringfügiger Natur zu sein, um eine Erschütterung jenes Erfahrungssatzes veranlassen zu können.

Kurz, als man die Thätigkeit des Lichts bei der Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle erkannt hatte und sich nun die Frage stellte, die wir uns vorhin gestellt haben, welche Strahlen es wohl sein möchten, die die chemische Arbeit in diesem Falle leisteten, da war man geneigt, die Antwort zu geben, dass es in diesem speciellen Falle, wie in den bekannten andern, auch wohl die chemischen Strahlen sein müssten, denen jene Wirkung zugeschrieben werden könne.

Dazu kamen noch einige weitere Umstände, die jenen Schluss zu bestätigen schienen. Helmholtz **) hatte seiner Zeit angedeutet, es könne die Thatsache (die sich aus den sehr dunkel ausfallenden Photographien pflanzenreicher Land-

---

Untersuchungen das reine Chlor durch Bestrahlung in eine an chemischer Spannkraft reichere Modification übergeführt wird. Auch Draper (Berzelius Jahresber. 24. p. 57, 25. p. 68, 26 p. 136) kommt durch seine Versuche zu derselben Annahme, während Bunsen u. Roscoe (Jahresber. d. Chemie 1857. p. 46) derselben widersprechen.

*) Ich entnehme diese Thatsache einer Angabe in Eisenlohr: Lehrbuch d. Physik. Stuttgart 1860. p. 258.

**) Wechselwirkung der Naturkräfte. 1854. p. 37.

schaften ergäbe), dass die chemischen Strahlen von den grünen Blättern unserer lebenden Gewächse nicht zurückgeworfen werden, durch die Verwendung jener Strahlen zu chemischen Arbeiten innerhalb der Pflanze erklärt werden. Die Erscheinung, auf die Helmholtz aufmerksam machte und so zu deuten geneigt war, ist in der That Jedem, der Photographien von Landschaften aufmerksam betrachtet hat, auffallend genug. Der Wald, die Blätter der Bäume sind auf solchen Bildern im Gegensatze zu vielen hellen Gegenständen, Gebäuden, Wegen so ausnehmend dunkel, dass durch dieses Verhalten die landschaftliche Schönheit der Gegend, welche die Photographie copirt, wesentlich gestört wird, da diese Schönheit eben theilweise auf einer in der Wirklichkeit ganz anders abgestuften Nuancirung von Licht und Schatten beruht. Diese so leicht zu constatirende auffallende Erscheinung zeigt deutlich, dass die „chemischen" Strahlen (die bei der Photographie ja lediglich zur Wirksamkeit gelangen) von den lebenden grünen Organen nicht zurückgeworfen werden.

Aber nicht genug, Roscoe hat gelehrt, indem er frische grüne Blätter auf photographisches Papier legte und dieses so der Lichtwirkung aussetzte, dass auch keine chemische Strahlen durch lebende grüne Blätter *hindurchgehen*.

Jedermann kann sich durch die einfachste Versuchsanstellung von der Welt von der Correktheit dieser Angabe überzeugen. Man setze solche Blätter auf empfindlichem photographischem Papiere selbst stundenlang dem Sonnenlichte aus, und man wird finden, dass die Stellen wo die Blätter *) lagen, weiss oder fast weiss geblieben sind, während ringsum vollkommene Schwärzung selbst bei den nur Bruchtheile von Stunden ausgesetzten Papieren eingetreten ist.

Um so wahrscheinlicher musste natürlich unter solchen Umständen, da nun nachgewiesen war, dass die grünen Blätter, in denen sich eine chemische Arbeit vollzieht, weder „chemische" Strahlen durch sich hindurch lassen, noch auch dieselben reflektiren, die Anschauung erscheinen, nach welcher diese „chemischen" Strahlen geradeso wie bei der Wirkung auf Silbersalze in den Blättern jene chemische Arbeit verrichteten.

Als man nun aber für das Resultat dieser Herleitung experimentelle Belege **) suchte, als man den Process der Produktion von organischer Substanz bei Ausschluss gewisser Strahlengattung sich vollziehen liess, da fand man übereinstimmend mit einander, dass derselbe von der Anwesenheit *der „chemischen" Strahlen völlig unabhängig* sei, dass (im Widerspruch mit der Anschauung, die man zu bilden sich für berechtigt gehalten hatte) die *„chemischen" Strahlen überhaupt nicht in erheblichem Masse die Fähigkeit besässen, die chemische Arbeit der Produktion von organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser zu vollziehen.*

An diesen Versuchen haben sich so viele Forscher fast aller europäischen Nationen betheiligt, und von allen diesen wurden so übereinstimmende Resultate erlangt, dazu sind die betreffenden Experimente verhältnissmässig so leicht anzustellen, dass an der Richtigkeit des so gewonnenen Resultates nicht im Mindesten gezweifelt werden darf.

*) Der Versuch gelingt selbst mit sehr dünnen Blättern z. B. jungen Lindenblättern.

**) Die ersten Versuche in dieser Richtung sind freilich älter als diese letzte Schlussfolgerung.

Dieses Beispiel — und darauf möchte ich mit wenigen Worten aufmerksam machen — eines unvermutheten experimentellen Resultates ist sehr lehrreich für die relative Sicherheit der Schlüsse der induktiven Wissenschaften. Hätten wir es mit einer Disciplin zu thun gehabt, die sich entweder aus hochmüthiger Bequemlichkeit oder wegen Unzugänglichkeit der direkten Erfahrung durch Beobachtung und Experiment zur Beantwortung der eben behandelten Frage der rein deduktiven Methode hingegeben hätte, so wäre der endgültige Schluss trotz der verhältnissmässigen Sicherheit der Sätze, auf die die Folgerung gegründet werden musste, dennoch ein völlig falscher gewesen. Hieraus geht ohne Weiteres der hohe Werth der Möglichkeit einer steten Kontrole unserer Schlussfolgerungen durch die induktive Methode hervor. Diese dient als Wegweiser, ohne den man auch mit der schärfsten Logik, wegen der Unsicherheit der zu Grunde gelegten Vordersätze, beinahe unfehlbar vom richtigen Wege abirrt, wie die Geschichte unserer rein philosophischen Herleitungen zur Genüge beweist.

Die experimentellen Methoden, mit denen jenes Resultat zu Tage gefördert wurde, können hier nur flüchtig skizzirt werden. Zur Abschliessung einzelner Strahlengattungen wurden bunte Gläser und gefärbte Lösungen verwandt, die zwischen die Lichtquelle (die Sonne) und die Pflanze, in deren chlorophyllhaltigen Zellen sich die chemische Arbeit vollziehen sollte, eingeschaltet wurden *). Dasselbe Licht, was zur Pflanze gelangen konnte, wurde häufig gleichzeitig auf seine Fähigkeit Silberpräparate zu schwärzen, also auf seinen Gehalt an „chemischen" Strahlen untersucht und so die Nichtcoincidenz der verschiedenen chemischen Arbeiten in Bezug auf die Strahlen, durch die sie verrichtet werden, nachgewiesen. Einer der Experimentatoren, v. Wolkoff **) arbeitete ohne Einschaltung eines gefärbten Mediums und bewies einfach, dass unter gewissen Umständen im Freien, die chemische Arbeit in der Pflanze durch längere Zeiträume hindurch äusserst gleichförmig verläuft, während das atmosphärische Licht sehr ungleichförmig auf die Zerlegung der Silbersalze wirkte, also auf fortwährende Veränderungen der „chemischen" Intensität dieses Lichts geschlossen werden musste. Dieser Nachweis führt selbstredend zu der gleichen Schlussfolgerung.

Als Symptom der chemischen Arbeit in der Pflanze wurde bis zur allerneuesten Zeit die Sauerstoffabscheidung beobachtet und auf verschiedene Weise, allein nicht immer ganz vorwurfsfrei gemessen ***). Soweit Luftpflanzen Anwendung fanden, wurden die Volumina der aus den grünen Pflanzentheilen entwichenen Gase und der Sauerstoffgehalt derselben bestimmt. Für untergetauchte Wasserpflanzen brachte Sachs eine Methode der Sauerstoffmessung in Anwendung, die sich als äusserst bequem erwiesen und sich trotz der mangelnden theoretischen Begründung unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmassregeln als auch für wissenschaftliche Zwecke brauchbar gezeigt hat.

---

*) S. J. Sachs: Handbuch d. Experiment. Physiol. d. Pflanzen. Leipzig 1865. p. 25 u. Botanische Zeitung 1864 p. 353 ff.

**) A. a. O. Pringsheim: Jahrbücher V. p. 7.

***) Siehe über diese Methoden N. J. C. Müller: Pringsh. Jahrbücher VI. 1868. p. 478.

Ich habe dort an's Fenster, wo die Lichtintensität genügend ist, um Sauerstoffabscheidung zu bewirken, ein Glas mit kohlensäurehaltigem Wasser aufgestellt, in dem sich ein Zweig einer bekannten grünen Wasserpflanze, Ceratophyllum demersum so aufgehängt befindet, dass derselbe ganz in das Wasser eintaucht und das Schnittende nicht weit von der Oberfläche des Wassers entfernt ist. Schon seit dem Beginn der Vorlesung steigt ein continuirlicher Strom von kleinen Blasen aus diesem Schnittende auf. Es ist dies genau dieselbe Erscheinung, die wir in der letzten Vorlesung an Luftpflanzen, die unter Wasser getaucht waren, beobachtet haben; nur dass diese Sauerstoffabscheidung bei Wasserpflanzen, die keine Spaltöffnungen *) besitzen und die daher das bei der Produktion von organischer Substanz sich bildende Sauerstoffgas in die innern luftführenden Gefässe entlassen, aus welchen dasselbe an der Schnittfläche des Stengels in einem Blasenstrom entweicht, in so viel regelmässigerer Weise von Statten geht. Dass wir es in der That hier mit dergleichen Erscheinung, die wir früher bei Luftpflanzen beobachteten, mit einem Symptom der Produktion von organischer Substanz zu thun haben, können wir sogleich beweisen, indem wir zeigen, dass dieselbe an das Vorhandensein einer intensiven Lichtquelle geknüpft ist.

Ich stelle das Glas, in welchem sich der Zweig von Ceratophyllum demersum befindet, dort in den dunkelsten Theil des Auditoriums. Der Blasenstrom wird langsamer und jetzt ist derselbe erloschen. — Ebenso liesse sich leicht der Sauerstoffreichthum des entweichenden Gases zeigen, wenn wir uns die Mühe nehmen wollten, dasselbe zu sammeln.

Ich setze jetzt das Glas an's Fenster zurück und dort im intensiveren Lichte beginnt sogleich wieder die Thätigkeit mit der alten Stärke. Eine Blase reiht sich an die andere; und sie bilden so eine kleine Perlenschnur, die das Schnittende der Pflanze mit der Oberfläche der Flüssigkeit verbindet.

Wenn wir diesen Vorgang mit dem früher an Luftpflanzen beobachteten analogen Process vergleichen, so fällt uns sogleich die grosse Regelmässigkeit auf, mit welcher derselbe von Statten geht. Dort lösten sich kleinere und grössere Gasblasen in unregelmässigen Zeitintervallen von den grünen Blättern los. Um einen Einblick in die Intensität des Vorgangs zu erlangen, mussten die Gasmassen in kalibrirten Röhren gemessen werden, und hierzu sind natürlich, will man auch nur einen geringen Grad von Exaktheit erreichen, grössere Mengen erforderlich.

Bei den Wasserpflanzen dagegen macht sich die Beobachtung der Intensität des Vorgangs ganz von selbst. Es ist möglich, die einzelnen entweichenden Blasen zu zählen **) und so auch in sehr kleinen Zeiten alle Veränderungen in der Geschwindigkeit der Gasabscheidung zu bemerken. Ich kann sogar auf diese Weise die Abhängigkeit dieses Processes von den verschiedenen Lichtarten hier in der Vorlesung demonstriren — ein Unternehmen, was mit Luftpflanzen ein vergebliches bleiben müsste.

---

*) Diese Regel hat freilich ihre Ausnahmen. Siehe die neunzehnte Vorlesung oder ausführlicher J. Sachs: Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 246.

**) Zuweilen entweichen allerdings die Blasen sehr rasch. Allein man stellt so lange neue Schnittflächen her, bis man die gewünschte Schnelligkeit durch Probiren gefunden hat.

Ich stülpe diesen Kasten aus gelbem Glase gefertigt über das Gefäss mit der Wasserpflanze. Die Intensität des Blasentsromes vermindert sich augenblicklich; aber die Anzahl der in einer gewissen Zeit entweichenden Blasen mag doch noch wohl halb so gross sein, wie vorher. Ich entferne den Kasten wieder; — die frühere Intensität stellt sich sofort wieder ein.

Nun stülpe ich diesen Kasten aus violettem Glase über das Gefäss; und man beobachtet, dass die Gasentbindung aus dem Stengelschnitt sofort aufhört *).

Auf diese Weise erfährt man schon durch einen sehr rohen Versuch, dass die weniger brechbaren gelben Strahlen auf Sauerstoffausscheidung aus der chlorophyllführenden Pflanze zu wirken vermögen, während die brechbarsten violetten Strahlen diese Arbeit nicht vollbringen können.

Ich lege aber nun unter jene beiden Kästen diese Stücke photographisch präparirten Papieres, die bisher im Dunkeln aufbewahrt wurden und in denen die Silbersalze noch in unzersetztem Zustande vorhanden sind. Wir werden alsdann nach Schluss der Vorlesung die Färbung der beiden Papiere mit einander vergleichen und dann bemerken, dass das Papier, das nur violette Strahlen empfing, tief gebräunt ist, während an dem andern kaum eine Veränderung wird constatirt werden können. Auf diesem Wege haben wir dann gezeigt, dass, wie wir dies vorhin schon ausgesprochen haben, die chemische Arbeit bei Zerlegung der Silbersalze und die in der chlorophyllhaltigen Zelle von sehr verschiedenen Strahlengattungen vollzogen werden.

Dieselbe Methode nun, deren wir uns eben zur Nachweisung dieses Sachverhalts bedient haben, hat vielfach nach dem Vorgang v. J. Sachs **) als Mittel, die Intensität der chemischen Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle zu bestimmen, (wobei natürlich die Gasblasen gezählt wurden) Anwendung gefunden, obwohl dies vielleicht schon desshalb nicht streng zulässig erscheint, als nachgewiesener Massen das entweichende Gas sehr verschieden reich ist an Sauerstoff. Dasselbe ist in seiner Zusammensetzung abhängig von dem Gasgehalt des umgebenden Wassers, durch das die Blasen zu streichen gezwungen sind. Immerhin wird aber — und dies muss wiederum zu Gunsten der Methode hervorgehoben werden — nur durch die Entbindung von Sauerstoff ein Impuls zum Entweichen von Blasen gegeben, da die Pflanze kein anderes schwerlösliches Gas dauernd und in erheblicher Menge ausgibt.

Neben den Methoden, die sich auf Beobachtung der Sauerstoffabscheidung basiren, sind jedoch die Methoden zu unterscheiden, die auf die Beobachtung des Zuwachses an organischer Substanz gegründet sind. Hier ist der Ort, wo hervorgehoben zu werden verdient, dass Sauerstoffabscheidung und Bildung von organischer Substanz nicht nothwendig völlig *identische* Symptome von der Leistung einer chemischen Arbeit sind. Auf diesen Gegenstand müssen wir mit einigen Worten eingehen.

*) Diese Versuche eignen sich nur zur Demonstration in Vorlesungen, wenn man die dem Zimmer zugewendete Seite der übergestülpten Glaskästen aus weissem Glase fertigt resp. offen lässt, — eine Vorrichtung, die das Gelingen der Versuche nicht wesentlich beeinträchtigt.

**) Botan. Zeitung 1864 p. 353 u. f.

Wir haben uns im Allgemeinen früher so ausgedrückt, als müsse die chemische Arbeit, die bei der Produktion von organischer Substanz geleistet wird, lediglich in der hierzu nothwendigen Loslösung von Sauerstoff bestehen. Dies ist jedoch streng genommen nicht ganz richtig. Nicht jede chemische Arbeit muss nothwendiger Weise äusserlich in der erfolgten Trennung zweier verbundener Körper erkennbar sein. Es können in irgend einem Stoff, oder in einem Gemisch von Stoffen chemische Spannkräfte angesammelt werden, und solche wiederum verloren gehen, ohne dass eine eigentliche chemische Zersetzung, resp. Verbindung beobachtet werden kann. Wir machen in solchen Fällen die Annahme einer Umlagerung, die im einen Fall einer Auseinanderzerrung, im andern Fall einer Näherung der einzelnen Atome entspricht. Ich erinnere hier nur an die molekularen Modificationen einfacher Körper, bei deren Entstehung Wärme *) frei wird, also chemische Spannkraft verloren geht.

Mit Berücksichtigung dieser Eventualitäten müssen wir uns sagen, dass die Sauerstoffabscheidung zwar ein sicheres Kennzeichen für eine geleistete Arbeit ist, dass aber theoretisch auch Arbeit geleistet werden kann, ohne dies sichtbare Aussenzeichen, dass sogar Nichts einer Annahme im Wege steht, nach welcher zur continuirlichen Erzeugung von beliebigen organischen Stoffen aus Kohlensäure und Wasser andere chemische Arbeiten, als die, welche mit Sauerstoffabscheidung endigen, unumgänglich nothwendig seien.

Die unleugbare Möglichkeit eines solchen Verhaltens macht die Untersuchung der Bedingungen der Produktion von organischer Substanz neben der der Sauerstoffabscheidung wenigstens erwünscht.

Dieses waren ungefähr die Gesichtspunkte, von denen geleitet, ich vor einigen Jahren es unternahm, die Abhängigkeit der *Produktion von organischer Substanz* durch die chlorophyllhaltigen Pflanzen von den einzelnen Strahlengattungen zu ermitteln, nachdem die Abhängigkeit der Sauerstoffabscheidung von denselben bereits festgestellt war. Ich bediente mich also einer Methode, die es zuliess, als Symptom der geleisteten Arbeit die neu gebildete organische Substanz einer grünen Pflanze zu bestimmen.

Aehnlich wie es de Saussure**) nach den Entdeckungen von Ingen-Housz u. Sennebier noch für nothwendig gehalten hatte, nachzuweisen, dass während der von diesen beobachteten Sauerstoffabscheidung organische Substanz gebildet werde, ähnlich erschien es auch mir in Betreff der vorliegenden Frage wünschenswerth, neben der Unabhängigkeit der Sauerstoffabscheidung von den chemischen Strahlen, diese Unabhängigkeit für die Gesammtproduktion der organischen Substanz festzustellen. Dazu kam jenes gerechtfertigte Erstaunen in Folge des unerwarteten Resultats, dass man die sogenannten „chemischen“ Strahlen bei der Sauerstoffabscheidung unbetheiligt fand. Es war somit ein leiser Verdacht durchaus erklärlich, dass diese Strahlen auch in der grünen Pflanze eine Arbeit leisten möchten, die sich zwar nicht direct durch Sauerstoffabscheidung legitimirte, aber doch vielleicht ein Glied in der Kette der Arbeiten, die zur endgültigen Entstehung von organischer Substanz noth-

*) Z. B. wenn Schwefel aus der einen Modification in die andere übergeht.

**) Siehe die zweite Vorlesung p. 33, 34.

wendig wären, bildete und dass somit bei Abwesenheit jener „chemischen“ Strahlen dauernd keine organische Substanz erzeugt werden könne.

Es handelte sich weiter darum, darüber in's Klare zu kommen, was denn eigentlich aus jenen chemischen Strahlen werde, die von den grünen Organen nachweisbar zurückgehalten werden und doch in keinerlei Beziehung zur Sauerstoffabscheidung durch diese Organe stehen.

Ueber die Details der Methode *), deren ich mich zur Entscheidung der aufgeworfenen Frage bediente, brauche ich (wegen ihrer Selbstverständlichkeit) kein Wort zu verlieren, und kann ich mich lediglich auf die Angabe beschränken, dass es mir in mehreren Fällen gelang, durch vergleichende Wägung des Samengewichts und der bei Ausschluss der „chemischen“ Strahlen erwachsenen Pflanzen die *dauernde Möglichkeit der Produktion von organischer Substanz* unter diesen Bedingungen *zu erweisen* und die Proportionalität dieser Produktion mit der zur Verwendung gelangenden auf Sauerstoffabscheidung wirkenden Menge von Licht wahrscheinlich zu machen.

Es ist somit als erwiesen anzusehen, *dass die „chemischen“ Strahlen nicht blos Nichts mit jener Sauerstoffabscheidung zu thun haben, sondern auch für den ganzen Process der Entstehung von organischer Substanz*, der nicht nothwendig mit jenem Vorgang identisch sein muss, *völlig entbehrlich sind,* dass sie also mit Wahrscheinlichkeit keinerlei Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle zu leisten berufen sind. Die Sauerstoffabscheidung kann in der That als zureichendes Symptom für die chemische Arbeit im Chlorophyllapparat angesehen werden.

Eine weitere Bestätigung dieses Verhaltens ist dann durch eine Arbeit Famintzin's **) beigebracht worden, in der er die Unabhängigkeit der Bildung einer organischen Substanz, die wir als Erstlingsprodukt des Reduktionsprozesses zu betrachten berechtigt sind, des Stärkemehls in den Chlorophyllbändern einer Alge, Spirogyra orthospira Naeg. von der Anwesenheit „chemischer“ Strahlen durch mikroskopische Beobachtung bewiesen hat.

Wir sind sogar in unsern Studien über den in Rede stehenden Gegenstand so weit gelangt, um uns ein annäherndes Bild zu verschaffen von der relativen Befähigung der einzelnen Strahlengattungen, Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle zu veranlassen. Durch die Kurven auf Tafel I ist diese relative Befähigung im Vergleiche mit der derselben Strahlengattungen, Wärmewirkung, für unser Auge wirksames Licht und chemische Wirkung auf Silbersalze und Chlorknallgas hervorzubringen, graphisch ausgedrückt, und wir ersehen namentlich aus dieser Zusammenstellung, dass die Wirkung in der chlorophyllhaltigen Zelle auch nicht genau mit der leuchtenden Wirkung des Lichts zusammenfällt,***) obgleich man Dies häufig (der Bequemlichkeit wegen) so ausdrückt. †)

---

*) Vergl. übrigens Landw. Versuchsst. 1867 p. 396 u. 1869 p. 207.

**) Pringsh. Jahrb. 1868 p. 31.

***) Prillieux hat Dies freilich geradezu behauptet, jedoch auf Versuche gestützt, welche die Abweichungen deutlich genug zeigen (Vergl. Compt. rend. T. 69. p. 204.); vergl. auch dessen neueste Abhandlung ebenda T. 70 p. 521.

†) Die Ordinaten der auf Tafel I verzeichneten Kurven haben selbstverständlich keine unter einander der Intensität nach vergleichbare Werthe.

Unsere Untersuchungen haben uns also zu dem überraschenden Resultate geführt, dass gerade die weitaus bedeutendsten chemischen Arbeiten auf unserer Erdoberfläche, die in so überwältigend grossartigem Massstabe in der grünen Pflanzenwelt vollzogen werden, nicht von denjenigen Strahlen ausgehen, die man als ausschliesslich zu chemischen Wirkungen befähigt angesehen und deshalb mit dem Namen „chemische Strahlen“ belegt hatte. Es ist daher festzuhalten, dass dieser Namen heute nur noch eine relative Bedeutung hat, dass es in Wahrheit nicht, wie man früher trotz einiger kleiner abweichender Beobachtungen glaubte, eine Klasse von Strahlen gibt, denen katexochen eine solche Wirkung*) zuerkannt werden darf.

Allein nun wirft sich uns von Neuem und weit dringlicher die Frage auf, was denn aus den sogenannten „chemischen“ Strahlen wird, die ja doch nach den leicht anzustellenden Beobachtungen von Helmholtz und Roscoe in den grünen Blättern zurückgehalten werden, wenn sie nicht daselbst innere Arbeit verrichten, namentlich, da diese brechbarsten Strahlen nicht leicht behufs Wärmebildung von einem durchscheinenden und nicht sehr dunkel gefärbten Körper absorbirt werden. Dieser Sachverhalt war es ja hauptsächlich, der uns zur Abgabe eines vorschnellen Urtheils, das nachher durch die Versuche nicht bestätigt wurde, verleitete.

Wir werden der Lösung dieser durch das Vorhergehende noch nicht erledigten Frage näher geführt, wenn wir das Verhalten des todten Blatts hinsichtlich seiner Fähigkeit, „chemische“ Strahlen zurückzuhalten, prüfen. Wenn man nach der vorhin beschriebenen Roscoe'schen Methode vergleichungsweise von möglichst ähnlichen Blättern, die aber theilweise durch Eintauchen in kochendes Wasser getödtet sind, photographische Abdrücke macht, so ist zwischen denen der lebenden und denen der todten Blätter keinerlei Unterschied zu bemerken; diese verhalten sich also hinsichtlich der Durchlässigkeit für chemische Strahlen völlig gleich, obgleich in den todten Blättern keine Produktion von organischer Substanz mehr stattfindet, keine chemische Arbeit geleistet wird. Ein Vorgang, der allein im lebenden Blatt vor sich gehen kann, ist es also unmöglich, durch den die „chemischen“ Strahlen bei ihrem Durchgang vernichtet werden.

Auch der Anblick solcher photographischer Abdrücke bestätigt bei uns den Schluss, zu dem wir vorhin auf einem ganz anderen Wege gelangt sind, dass das Verschwinden der „chemischen“ Strahlen in den grünen chlorophyllführenden Organen Nichts mit dem Leisten einer „chemischen“ Arbeit in diesen Organen zu thun hat.

Wir werden uns einfach nach einer andern Ursache dieser Absorption von „chemischen“ Strahlen umzusehen haben, und in der That wissen wir, dass irgend eine Lichtart beim Durchgang durch irgend ein Medium ausser durch Absorption im gewöhnlichen Sinne des Worts d. h. dadurch dass dieser Körper durch die Strahlen erwärmt wird, und durch Verwendung der Strahlen zur chemischen Arbeit noch dadurch verschwinden kann, dass die Wellenlänge der Lichtart abgeändert, diese letztere in eine andere von geringerer Brechbarkeit verwandelt wird, wobei dann der Austritt der Strahlen mit diesen veränderten Eigenschaften erfolgt. Wir nennen eine solche Erscheinung, die durch Körper der allerverschiedensten Art bewirkt wird, *Fluorescenz.*

Medien, die diese Eigenschaft besitzen, können z. B. auch die sehr brechbaren

*) Auf die physikalische Bedeutung dieses Satzes wurde zuerst von J. Sachs aufmerksam gemacht. Vergl. Botan. Ztg. 1864 p. 356.

„chemischen“ Strahlen, in weniger brechbare, die keine Wirkung auf Silbersalze mehr ausüben, umwandeln.

Nun kann in der That leicht nachgewiesen werden, dass das Chlorophyll, sowohl in der lebenden Zelle als auch todt, als Extrakt, wie es durch Zerreiben grüner Blätter mit Alkohol erhalten werden kann,*) (wobei die Chlorophyllkörner ihre Farbe an dieses Lösungsmittel abgeben) sehr stark fluorescirende Eigenschaften hat. Man kann diese Eigenschaft schon ohne weitere Vorrichtung aus der theilweise intensiv rothen Färbung des unter bestimmten Verhältnissen durchgegangenen und reflektirten Lichtes an der auf diese Weise dargestellten Lösung erkennen; diese hat in Folge dessen, ebenso wie die Blätter, die Eigenschaft, keine „chemischen“ Strahlen durch sich hindurch zu lassen, wie schon seit längerer Zeit bekannt ist.

So erklärt sich denn die vorhin noch so befremdend klingende Thatsache, dass die chlorophyllhaltigen Organe der Pflanze undurchlässig für „chemische“ Strahlen sind und auch keine solchen reflektiren, ohne dass das Verschwinden dieser Strahlen in Zusammenhang gebracht werden konnte mit der chemischen Arbeit, die in der chlorophyllhaltigen Zelle geleistet wird, einfach so, dass diese Strahlen in Strahlen von anderer Wellenlänge, von geringerer Brechbarkeit verwandelt werden, in welcher Form sie dann auch jenseits eines grünen Organs (durch die einfache Durchsichtigkeit desselben) nachgewiesen werden können.

Ich möchte noch kurz darauf aufmerksam machen, welcher Nutzen dem chlorophyllhaltigen Organ durch diese Anordnung erwachsen kann. Wir haben heute gesehen, dass gerade den weniger brechbaren, den sogenannten leuchtenden Strahlen eine direkte Wirksamkeit durch Leistung der vielbesprochenen chemischen Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle zukommt, während den „chemischen“ Strahlen eine solche abgesprochen werden musste. Nun haben wir weiter in der Fluorescenz des Chlorophyllfarbstoffs eine Fähigkeit der grünen Organe erkannt, „chemische“ Strahlen in solche weniger brechbare leuchtende Strahlen zu verwandeln. Die durch diese Eigenschaft verwandelten Strahlen, die an der dem Lichte abgewendeten Seite des Blatts austreten werden, sind so *von Neuem befähigt,* in den chlorophyllhaltigen Zellen eines zweiten Blattes *Produktion von organischer Substanz zu bewirken;* und es werden durch diese Vorrichtung offenbar *weit mehr Strahlen* zur Leistung dieser Arbeit veranlasst, als ohne Fluorescenz der Fall sein könnte, und so kommt es denn, dass ein grüner Wald nicht blos für unser Auge ziemlich dunkel erscheint, sondern auch bei der Photographie sich völlig unfähig erweist, eine andere, direkt nicht wirkende Gattung von Strahlen, die er von der Sonne empfängt, wieder zurückzuwerfen.

Zum Schlusse dieser Vorlesung möchte ich noch eine an die eben erörterten Verhältnisse sich anschliessende Beobachtung mittheilen, deren Resultate sich eigentlich aus dem bisher über Lichtwirkung Mitgetheilten leicht ableiten lassen. Man hat

*) Es ist nach Untersuchungen von Sachs (Handbuch d. Exper. Physiol. d. Pfl. p. 7) wahrscheinlich, dass die fluorescirenden Eigenschaften der alkoholischen Chlorophylllösungen die gleichen sind, wie die des lebenden Chlorophyllkorns, obwohl in manchen andern Fällen das Lösungsmittel die fluorescirenden Eigenschaften des gelösten Körpers abzuändern vermag. Vergl. Jahresber. d. Chem. 1866 p. 80.

nemlich *irdische* Lichtquellen auf ihre Fähigkeit geprüft, die chemische Arbeit der Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle zu leisten.

Wir sind vorhin mit der Thatsache bekannt geworden, dass es Strahlen sind, die nahe mit den leuchtenden zusammenfallen, welche vorzugsweise befähigt erscheinen, diese Arbeit zu leisten, und daraus geht schon hervor, dass irdische Lichtquellen (die z. B. durch Glühen von durch chemische Processe hocherhitzten Körpern entstehen und die bekanntlich an hellleuchtenden Strahlen ziemlich reich und nur an chemischen Strahlen arm und daher zu photographischen Wirkungen wenig befähigt sind), wenn sie nur ausreichende Intensität besitzen, auch zur Leistung der Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle geeigenschaftet sein müssen. Dies haben nun auch die in dieser Richtung angestellten Versuche bestätigt und Famintzin hat z. B. seine in der heutigen Vorlesung erwähnten Versuche*) über Stärkebildung in den Chlorophyllbändern einer Fadenalge und deren Abhängigkeit von verschiedenen Lichtfarben mit dem Lampenlichte eines hellbrennenden Oeles (Kerasin) angestellt und bei dieser Beleuchtung Stärkebildung, Produktion von organischer Substanz beobachtet, — ein Resultat, das in der That nur Dem auffallen kann, der sich unter Sonnenlicht und irdischem Lichte Etwas „substanziell" Verschiedenes denkt.

Dasselbe würde natürlich für das Licht des Mondes gelten, wenn dieses nicht thatsächlich zu schwach wäre, um für die Produktionsthätigkeit der grünen Pflanze noch irgend in Betracht zu kommen.

Vierte Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Die Rolle des Chlorophylls. — Die producirte organische Substanz.

Wir haben bis jetzt die Bedingungen festgestellt, die nothwendig erfüllt sein müssen, damit in der chlorophyllhaltigen Zelle organische Substanz Entstehung nimmt, und uns gleichzeitig eine etwas eingehendere Vortellung von der Wesenheit jenes Processes des Entstehens von organischer Substanz gemacht. Wir wissen nunmehr dass wir *es in diesem Process mit einer chemischen Arbeit zu thun haben*, *die vom Lichte* und zwar von *einem gewissen Theil dieses Lichtes,* das in seiner Brechbarkeit und Wellenlänge ungefähr mit den sogenannten leuchtenden Strahlen zusammenfällt, *geleistet wird.*

Es wurde schon von vorneherein betont, dass jener Process nur in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzogen wird, dass alle Zellen, die jene Einrichtung, die wir mit Chlorophyllgehalt bezeichnen, nicht besitzen, auch nicht fähig sind, organische Substanz in sich zu erzeugen, und dass daher alle Organismen und Organismentheile, die dergleichen Zellen nicht enthalten, auf die Aufnahme von schon gebildeter organischer Substanz angewiesen sind, dass sie sich, wie wir uns ausdrücken, von organischen Stoffen ernähren.

*) Pringsh. Jahrb. VI, p. 31.

Nichts ist natürlicher, als dass man schon frühe darauf bedacht war, die *Rolle zu ergründen, die das Chlorophyll* bei der Produktionsarbeit spielt, da dasselbe für die Möglichkeit des Zustandekommens dieses Processes durchaus entscheidend war; — Nichts schien einfacher, als die Bildung von organischer Substanz auf einen *chemischen Vorgang*, bei der jener grüne Farbstoff eine thätige Rolle spielte, zurückzuführen.

Ich werde nun zuerst mitzutheilen haben, was in dieser Richtung geschehen ist, um dann zu sehen, wie viel Klarheit in den bis jetzt noch dunkeln Chemismus des fraglichen Processes auf diese Weise gebracht worden ist.

Ich erinnere daran, dass die sogenannten Chlorophyllkörner (oder anders geformten Chlorophyllkörper), durch welchen Apparat sich die chlorophyllhaltigen Zellen allein vor andern nicht zur Produktion von organischer Substanz fähigen Zellen auszeichnen, durch Alkohol ihrer grünen Farbe beraubt werden können, so dass nach dem Behandeln mit diesem Lösungsmittel nur noch die ungefärbte protoplasmatische Grundlage übrig bleibt. In dem alkoholischen Extrakt befindet sich alsdann der grüne Farbstoff — das Chlorophyll des Chemikers, und kann daraus durch Verdampfen des Alkohols, oder auf irgend einem andern Wege wieder abgeschieden werden.

Es hat hier wenig Interesse für uns zu wissen, dass es gelungen ist, diesen grünen Farbstoff durch chemische Mittel in einen gelben und einen blauen*) oder gar nach späteren Untersuchungen**) in zwei gelbe, einen blauen und einen braunen zu zerlegen, denn Niemand kann angeben, ob dieser Zerfall zu dessen Rolle in der lebenden Zelle auch nur in der aller entferntesten Beziehung steht.

Einige Untersuchungen***) sind darauf gerichtet gewesen, zu ermitteln, ob dieser grüne Farbstoff, getrennt von der Pflanze, nicht ähnliche Wirkungen auszuüben vermöchte, wie in der lebenden Zelle, ob er nicht etwa, wenn man ihm das gehörige Rohmaterial, Wasser und Kohlensäure zu Gebote stellte und, gleichzeitig für eine gehörig intensive Lichtquelle sorgte, kurz die Bedingungen erfüllte, unter denen in der chlorophyllhaltigen lebenden Zelle organische Substanz producirt wird, das Licht auch ausserhalb der Zelle zu der gleichen chemischen Arbeit veranlasse.

Wir werden, ehe wir das Resultat dahin gerichteter Bestrebungen mittheilen, das Verhalten des Chlorophyllfarbstoffs in der alkoholischen Lösung oder überhaupt ausserhalb der Zelle gegen das Licht, dessen chemische Constitution u. s. w. betrachten und sehen, in wiefern diese Verhältnisse zu der Hoffnung, jenen Process auch ausserhalb der lebenden Zelle vor sich gehen zu lassen, berechtigten.

Als man den Chlorophyllfarbstoff, wie wir die in den Extrakten enthaltene von der protoplasmatischen Grundlage getrennte grüne Substanz immer nennen wollen, auf sein Verhalten dem Lichte gegenüber untersuchte, fand man, dass (wie wir dies schon erwähnt haben) diesem grünen Farbstoff die Fähigkeit zukomme, die „chemischen“ Strahlen zurückzuhalten. Ich erinnere

*) Fremy: Jahresber. d. Chem. 1860. p. 533; H. Ludwig ebenda 1861 p. 738; Fremy ebenda 1865 p. 585.

**) E. Filhol: Compt. rend. T. 61 p. 371 u. Jahresber. d. Chemie 1865 p. 586.

***) Vergl. Jodin: Compt. rend. 1864. T. 59 p. 859.

daran, dass die todten grünen Blätter genau wie die lebenden, wenn man sie auf photographischem Papier dem Lichte darbietet, da wo sie liegen, sehr vollständig die Schwärzung des Papiers verhüten, so dass man auf diese Weise eine Art von photographischen Abdrücken erzeugen kann. Genau dasselbe bewirkt nun auch ein Chlorophyllextrakt, und es ist somit dieses Verschlucken der „chemischen“ Strahlen eine Eigenthümlichkeit, die der Chlorophyllfarbstoff, gleich viel wo er sich befindet, im lebenden Blatt oder herausgerissen aus dem Zusammenhang des Organismus, besitzt. Wir haben schon in der vorigen Vorlesung dieses Verschlucken von chemischen Strahlen auf eine Fluorescenzerscheinung zurückgeführt, die dem Farbstoff *als solchem* zukommt und damit die Sache abgethan.

Hier wollen wir nur erörtern, welche Folgerungen man früher, ehe man den von uns dargelegten Zusammenhang ahnte, aus diesem Verhalten der Chlorophylllösungen zu ziehen geneigt war. Man sah Licht und zwar Licht, das zu chemischen Arbeiten befähigt war, in den Chlorophylllösungen verschwinden; man dachte nicht an die Fluorescenz dieser Lösungen oder wenigstens nicht an die Wesenheit der Fluorescenz. — Was war natürlicher, als anzunehmen, dass auch die Strahlen in jenem Extrakt dieselbe chemische Wirkung vollzögen, die sie, wie man glaubte, in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzogen, und dass man es in Folge dessen auch für möglich hielt, jenen merkwürdigen Process der Produktion von organischer Substanz bis ausserhalb der Pflanzenzelle zu verfolgen und sich schon auf dem Wege meinte, jenen physiologischen Vorgang auf einen rein chemisch-physikalischen zurückzuführen.

Dazu kam noch, dass chemische Arbeiten anderer Art bekanntlich ohne einen eigens dazu eingerichteten Apparat an jedem beliebigen Orte vollzogen werden konnten; — ich erinnere nur an die Reduktion von Silbersalzen, die man einfach dem Lichte darzubieten braucht, um die Arbeit sich vollziehen zu sehen. Ein Aehnliches für die Reduktion von Kohlensäure und Wasser anzunehmen und sich hierbei den Chlorophyllfarbstoff als eine *vermittelnd* wirkende Substanz zu denken, an die der Sauerstoff jener Körper zuerst abgegeben werden müsste, ehe er durch chemische Arbeit in Freiheit gesetzt wird, war eine sehr plausible Hypothese. Dass zu diesem Processe *mindestens* die Anwesenheit eines solchen vermittelnd wirkenden Stoffes nothwendig sei, darüber konnte man keinen Augenblick zweifelhaft sein; denn man sah ja, dass in einem von der Sonne beschienenen Glas Sodawasser, in dem doch sonst alle Bedingungen der Erzeugung von organischer Substanz vorhanden waren, diese nicht vor sich ging.

Es schien also bei oberflächlicher Betrachtung dieser Verhältnisse, als ob es möglich sei, jenen Process der Reduktion von Kohlensäure und Wasser zu organischer Substanz unter Mithülfe des Chlorophyllfarbstoffs an jedem beliebigen Orte, sogar in einer alkoholischen Lösung vor sich gehen zu lassen, und man stellte nun nähere Betrachtungen an über den Gasaustausch solcher Chlorophylllösungen (oder auch des abgeschiedenen Farbstoffs) bei starker Belichtung und über deren sonstige Veränderungen. Allein nun fand man, dass zwar ein Gasaustausch stattfände, aber *gerade im umgekehrten Sinn, als man erwartet hatte;* man fand, dass der belichtete Farbstoff Kohlensäure abgab und Sauerstoff aufnahm, mit andern Worten, eine langsame Oxydation in sich vollzog, genau wie dies die meisten organischen Substanzen unter

diesen Umständen thun. Dabei tritt gleichzeitig eine Entfärbung des Chlorophyllfarbstoffs, die von der Belichtung bedingt ist, ein, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man solche Lösungen vergleichungsweise am hellen Tageslichte und im Dunkeln stehen lässt.

Hier begünsigt also das Licht — es interessirt uns nicht, welche Strahlen — einen Oxydationsprocess, wie er an vielen andern organischen Substanzen unter Lichtwirkung stattfindet, und es liegt natürlich nicht die geringste Veranlassung vor, diesen Vorgang mit dem Process in der lebenden chlorophyllhaltigen Zelle in Verbindung zu bringen. Man hat dies zwar wohl versucht*) und wollte die Wirksamkeit des Chlorophylls in der lebenden Zelle eben dadurch erklären, dass sich dasselbe unter Einfluss des Lichtes oxydire, aber dort nicht wie ausserhalb der Pflanze auf Kosten des freien Sauerstoffs, sondern auf Kosten des in der Kohlensäure und dem Wasser enthaltenen Sauerstoffs, die dabei zu organischer Substanz reducirt werden sollten.

So fruchtbar eine solche Theorie auf den ersten Blick zu sein scheint und so bestechend die ihr zu Grunde liegende Hypothese aussieht, so ist doch in Wahrheit der fragliche Process auf diese Weise der Erklärung nicht um eines Haares Breite näher gerückt. Denn offenbar entsteht sofort nach Acceptirung dieser Annahme die neue Schwierigkeit, die Ursache für die stete Neubildung des Chlorophylls durch Reduktion aufzufinden, ein Vorgang, der ausserhalb der Zelle niemals beobachtet wurde und der genau so wie die Entstehung von organischer Substanz die Leistung einer chemischen Arbeit voraussetzt.

Jene Hypothese fördert uns also nicht um einen Schritt in der Erklärung der Rolle, die der grüne Farbstoff bei jenem wunderbaren Process, genannt Entstehung von organischer Substanz spielt, und ist desshalb als unnütz zu verwerfen. Die Oxydation des Chlorophyllfarbstoffs, welche bei Entfärbung desselben eintritt, ist ein Vorgang, dem eine grosse Anzahl organischer Verbindungen unterworfen sind, die gleichwohl desshalb nicht befähigt sind, eine so merkwürdige Rolle in der lebenden Pflanze zu spielen, und dieselbe hat voraussichtlich nicht das Geringste mit der Befähigung des Chlorophylls zu dieser Rolle zu thun.

Wir haben also gesehen, dass es bisher nicht möglich war, den Chlorophyllfarbstoff ausserhalb der lebenden Zelle zu irgend einer Thätigkeit zu bringen, die zu dem Vorgang in der chlorophyllhaltigen Zelle in irgend einer Beziehung steht, obgleich dies nach dem Verhalten jenes Farbstoffs dem Lichte gegenüber vermuthet werden konnte. Dieses Verhalten konnte theilweise auf Fluorescenzercheinungen, theilweise auf die Oxydation des grünen Farbstoffs zurückgeführt werden, auf Vorgänge, die direkt jedenfalls Nichts mit dem von uns in's Auge gefassten Processe zu thun haben.

Ebenso wenig wie die eben erörterten Versuche haben die chemischen Untersuchungen Licht in die so räthselhafte Wirkung des Chlorophylls zu bringen vermocht. Man hat zwar die Reindarstellung des Chlorophyllfarbstoffs versucht; aber die

*) Ueber die Art der Wirksamkeit des Chlorophylls sind in früherer Zeit die phantastischsten Hypothesen aufgestellt worden, deren Aufzählung uns hier erspart bleiben mag. Vergl. übrigens Mohl: Veget. Zelle. 1854. p. 205.

Resultate dieser Versuche sind so unsicher und sich so vielfach einander gegenseitig widersprechend, dass noch nicht von einem Gelingen der Reindarstellung gesprochen werden darf. Und selbst, wenn diese gelungen wäre, wenn es ausserdem durch weitere Untersuchungen geglückt wäre, Etwas von der chemischen Constitution des fraglichen Stoffes und von dessen vorherrschender Neigung zu gewissen Umsetzungen zu ermitteln, so würde eine Aufhellung jenes Dunkels doch noch äusserst zweifelhaft sein.

Einige der Chemiker sind durch ihre Untersuchungen des Chlorophyllfarbstoff's zu der Ansicht gekommen, dass der Stickstoff ein constituirender Bestandtheil desselben sei, und Mulder*) hat ihm die Formel $C_8 H_9 NO_4$ ertheilt, während von anderer Seite (Pfaundler)**) kein Stickstoff in demselben gefunden wurde. Wieder andere Forscher suchen, wie schon erwähnt, den Satz zu vertheidigen, dass der grüne Farbstoff ein Gemisch sei aus gelben und blauen Farbstoffen, ohne dass irgend eine dieser Meinungen als die siegreiche betrachtet werden könnte.

Unter solchen Umständen ist es leicht verständlich, dass die chemischen Untersuchungen sich als wenig fruchtbringend für die Entwickelung der Theorie der Wirkung des Chlorophylls in der lebenden Pflanze erwiesen haben.

Nur eine durch die Analyse des Chlorophyllfarbstoffs aufgefundene Thatsache hat bis jetzt eine gewisse Bedeutung erlangt, wenn auch nicht für die Theorie der Wirksamkeit desselben. Es ist dies die regelmässige Beobachtung des Eisengehalts aller aus dem Chlorophyll dargestellten grünen Substanzen. *Ohne Eisen* scheint der Farbstoff in der That nicht bestehen zu können, und später werden wir an einem ganz anderen Orte die diese Beobachtung bestätigende Thatsache zu verzeichnen haben, dass die Pflanze zur erfolgreichen Ausbildung ihres Chlorophyllapparats des Eisens nothwendig bedarf. Wir werden dort sehen, dass die bei Ausschluss von Eisen erzogene Pflanze, da sie unfähig ist, den grünen Farbstoff in sich auszubilden, ein gelbliches Ansehen behält, von diesem krankhaften und die Blätter ihrer Produktionsfähigkeit beraubenden Zustande aber durch die Zufuhr von Eisen geheilt werden kann. Zu unserem Gegenstande steht aber diese durch analytische Arbeiten errungene Erkenntniss nicht in der geringsten Beziehung.

Wir müssen uns vielmehr offen gestehen, dass die chemischen und physikalischen Untersuchungen der bis jetzt dargestellten Chlorophyllpräparate, noch kein Licht gebracht haben in das tiefe Dunkel des Vorgangs, den nach allen Seiten zu betrachten, die Aufgabe dieser unserer ersten Vorlesungen ist. Wir sind auch mit Hülfe der eben angeführten Erfahrungen zur Zeit unfähig, diesen Vorgang auf bekannte Erscheinungen zurückzuführen oder gar denselben ausserhalb der lebenden Zelle verlaufen zu lassen.

Wenn es uns dennoch gelungen ist, organische Substanz aus unorganischen Stoffen d. i. aus Kohlensäure und deren Verbindungen künstlich darzustellen, so haben wir dabei immer einen andern Weg eingeschlagen, als ihn die Natur zur Erzeugung der organischen Substanz auschliesslich betritt. Betrachten wir irgend eine unserer Methoden z. B. die Darstellung von Kohle aus einem anorganischen kohlensauren Salze mittelst eines Metalles, das eine grosse Affinität zum Sauerstoff besitzt, so benutzen

*) Annal. d. Chemie u. Pharm. B. 52. p. 421.
**) Ebenda. B. 115. p. 87.

wir offenbar eine schon vorhandene chemische Affinität und vollziehen eine chemische Reaktion im gewöhnlichen Sinne des Worts, während wir nicht im Stande sind, *durch eine äussere Kraft* unter Anhäufung von chemischen Kräften die organische Substanz zu erzeugen, wie dies die Natur stets thut. Wir können also sagen: *Ausserhalb von Organismen entsteht die organische Substanz*, so viel wir wissen, *niemals unter Leistung einer chemischen Arbeit durch äusssere Kräfte.* Es ist dies immerhin bemerkenswerth, da dieser Satz für andere chemische Arbeiten nicht gilt.

Als wir bisher vom Processe der Erzeugung von organischer Substanz sprachen, hatten wir damit keine spezielle organische Substanz im Auge, sondern nur das Entstehen einer chemischen Verbindung, die weniger Sauerstoff enthielt, als ein Körper, den man sich durch den blossen Zusammentritt von Wasser und Kohlensäure gebildet denkt, ein Vorgang, der mit chemischen Formeln allgemein so ausgedrückt werden konnte:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_x\,H_{2y}\,O_{2x+y-z} + z\,O,$$

wo x, y, z noch ganz unbestimmte Werthe haben sollten.

Wir müssen nun etwas näher auf diejenigen organischen Substanzen eingehen, deren direkte Erzeugung durch das Chlorophyllorgan beobachtet worden ist. Wir werden dabei bemerken, dass x, y, z nur ganz wenige Werthe anzunehmen fähig sind, dass mit anderen Worten nur sehr wenige organische Substanzen von ganz bestimmtem Gruppencharakter direktes Assimilationsprodukt der chlorophyllhaltigen Zelle sind. So kann man z. B. als Resultat aller dahin gerichteten Beobachtungen anführen, dass z niemals kleiner wird als 2x, d. h. also, dass bei dem Vorgang der Produktion von organischer Substanz wenigstens soviel Sauerstoff frei wird, als in der verarbeiten Kohlensäure vorhanden war,*) zuweilen aber weit mehr. Zugleich kann man behaupten, dass y nahezu gleich x zu sein pflegt, d. h. also, dass bei der Produktion von organischer Substanz Kohlensäure und Wasser nahezu im Verhältniss ihrer Molekulargewichte verarbeitet werden. Durch diese Angaben ist die Zahl der möglicher Weise entstehenden organischen Verbindungen schon wesentlich beschränkt.

Ganz in der Regel ist nun die zuerst entstehende Verbindung ein Kohlehydrat und zwar ein bestimmtes Kohlehydrat, das Stärkemehl. Die Beobachtung von Stärkemehl in den grünen Organen unter ganz bestimmten Umständen hat seiner Zeit nicht wenig zur klareren Erkenntniss des innigen Zusammenhanges zwischen Sauerstoffabscheidung und Bildung von organischer Substanz beigetragen. Die Entdeckung

---

*) Der Gasaustausch der chlorophyllhaltigen Organe in seinen relativen Verhältnissen scheint zwar nach einer Reihe von übereinstimmenden Angaben darauf hinzudeuten (vergl. Rochleder: Chem. u. Physiol. d. Pflanzen 1858 p. 105, wo die hierauf bezüglichen Versuche de Saussure's zusammengestellt sind), dass bei jenem Reduktionsprocess direkt immer etwas weniger Sauerstoff ausgegeben wird, als in der aufgenommenen Kohlensäure vorhanden war. Allein dieses Resultat verdient bei unsern Betrachtungen wenig Berücksichtigung, da unter den Verhältnissen, unter denen jene Versuche angestellt wurden, schon ein Theil der Kohlensäure durch blosse Absorption verschwinden musste und dieselben ausserdem durch spätere Versuche von Boussingault, von denen nachher die Rede sein wird, widerlegt wurden.

der Abhängigkeit des Auftretens von Stärkemehl in den Chlorophyll-beladenen Zellen von den Bedingungen, die zur Sauerstoffabscheidung unerlässlich sind, bildet eine wichtige Ergänzung zu der bereits in der vorletzten Vorlesung berührten Geschichte von der Entwicklung unserer Einsicht in den vielversprochenen Process der Entstehung von organischer Substanz.

Es ist eine Thatsache, die wir dem berühmten Tübinger Botaniker Hugo v. Mohl*) verdanken, dass die Chlorophyllkörner der meisten Pflanzen Einschlüsse von Stärkemehl enthalten, und es konnte sogar schon von ihm in einzelnen Fällen constatirt werden, dass diese Einschlüsse entstehen in vorher stärkefreien Chlorophyllkörnern. So unzweideutig diese Thatsache heute für das Entstehen dieser Stärkemehl-Einschlüsse aus Kohlensäure und Wasser unter gleichzeitiger Sauerstoffabgabe zu sprechen scheint, so hat dieselbe doch ihrer Zeit von gewisser Seite**) eine für unsere Begriffe äusserst künstliche Deutung erfahren. Man wollte dieses Stärkemehl als das Rohmaterial betrachten, aus dem unter (der beobachteten) Sauerstoffabscheidung das Wachs entstehen sollte, welches wir als einen Bestandtheil des Chlorophyllkörpers kennen. Die Kohlensäureaufnahme der chlorophyllhaltigen Zelle sollte mit der Sauerstoffabscheidung aus derselben *direkt* Nichts zu thun haben.

Zum Glück liegen nun aber neuere Versuche einerseits von Cramer und Nägeli***) andererseits von J. Sachs vor, die über die Rolle der Stärkeeinschlüsse nicht den geringsten Zweifel übrig lassen. Die beiden ersteren Forscher haben namentlich das Wachsen der Stärkekörner innerhalb der Chlorophyllkörner, denen sie eingebettet erscheinen, beobachtet, und Sachs†) gelang es dann zu zeigen, dass das *Licht* eine „conditio sine qua non" des Entstehens der Stärkemehleinschlüsse ist, indem dieselben in den Chlorophyllkörnern nur bei (genügender Wärme und) Belichtung auftraten. Später gelang dem letzteren Forscher sogar der weitere Nachweis, dass die einmal vorhandenen Stärkeeinschlüsse nach längerem Verweilen der Pflanze im Dunkeln in Folge von Processen, auf die wir in späteren Vorlesungen unsere Aufmerksamkeit zu richten haben werden, wieder verschwinden und dann durch neue Lichtwirkung sich von Neuem erzeugen lassen, wodurch also die behauptete Relation in genügender Weise dargelegt ist.

Das Stärkemehl ist nun eine chemische Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff von der Formel $C_6 H_{10} O_5$. Für Entstehung dieser Verbindung aus Kohlensäure und Wasser gestaltet sich die oben allgemein gegebene Formel:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_x\,H_{2y}\,O_{2x+y-z} + z\,O$$ wird für

Kohlehydrate: $$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_x\,H_{2y}\,O_y + 2x\,O,$$
wo $z = 2x$, und speziell für

Stärke zu: $$6\,CO_2 + 5\,H_2O = C_6\,H_{10}\,O_5 + 12\,O,$$
wo also $x = 6$, $y = 5$.

*) Vermischte Schriften 1864 p. 361.

**) Mulder; vergl. Mohl: Vegetab. Zelle. 1851. p. 205.

***) Citirt in Sachs: Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl· „Pflanzenpyhsiologische Untersuchungen. II. p. 398".

†) Sachs ebenda p. 28.

Hier ist also z nicht kleiner als 2x (genau ebensogross) und x und y haben nahezu gleiche Werthe, wie dies schon als allgemeines Resultat angegeben wurde.

Mit der Annahme, dass das Stärkemehl in der Regel das erste Produkt der Erzeugung von organischer Substanz sei, stimmt die von de Saussure gefundene, von uns noch nicht erwähnte Angabe recht gut, dass die producirte organische Substanz nahezu dass doppelte Gewicht des assimilirten Kohlenstoffs habe. Wenn wir nach der eben gegebenen Formel berechnen, wie sich die Mengen dieser Stoffe zu einander verhalten müssen, so finden wir:

assimilirter Kohlenstoff: organische Substanz = 72 : 162

— ein Verhältniss, das nicht viel von den von de Saussure erlangten Versuchsresultaten abweicht.

Es spricht ferner eine Reihe von Versuchen v. Boussingault,*) durch welche die relativen Mengen der bei dem Produktionsprocess aus- und eintretenden Gase bestimmt wurden, dafür, dass die zunächst entstehende Substanz ein Kohlehydrat ist, indem diese Gasmengen dem Volumen nach einander nahezu gleich gefunden wurden, und eine leicht auszuführende Berechnung lehrt, dass dies Verhältniss nur für die Annahme des Entstehens von Kohlehydraten zutrifft.

Man hat sich nun merkwürdiger Weise auch darüber den Kopf zerbrochen, ob der bei der Bildung von Stärkemehl (oder einiger anderer Substanzen, die wir gleich kennen lernen werden) abgeschiedene Sauerstoff aus der Kohlensäure oder aus dem Wasser stamme. So ist es namentlich Liebig gewesen, der es wahrscheinlich zu machen suchte, dass der abgeschiedene Sauerstoff wohl nicht von der Kohlensäure stammen könne, sondern eher vom leichter zersetzbaren Wasser herrühren möchte. Der freigemachte Wasserstoff sollte alsdann sofort mit der Kohlensäure zusammentreten und so die ersten organischen Verbindungen entstehen.

Wir müssen aber diese Anschauung wieder als eine der vielen *unnöthigen* und darum schädlichen Hypothesen betrachten, mit denen namentlich die physiologischen Wissenschaften stets überschwemmt worden sind, denn, obgleich man hierdurch glaubte, die Arbeit, die in der Pflanze geleistet werden muss und die nach den Begriffen der Chemiker allzu schwierig erschien, derselben zu erleichtern, so muss doch darauf aufmerksam gemacht werden, dass einmal die chemische Arbeit, zur Erlangung des gleichen Endresultates und bei Verwendung des gleichen Rohmaterials dieselbe bleiben muss, ob man nun einen Umweg gestattet oder nicht, dass weiter die Kohlensäure zur Erlangung des Endresultats (Entstehung von Kohlehydraten) doch in den Verlust von mindestens der Hälfte des ihr angehörenden Sauerstoffs früher oder später einwilligen muss und zwar gerade in den Verlust der (um auf den Liebig'schen Kalkul einzugehen) mit grösserer Energie gebundenen Hälfte.

Es muss ja nach kurzer Ueberlegung einem Jeden klar sein, dass man bei der Bildung von organischer Substanz gar nicht von der gesonderten Reduktion von Kohlensäure und der von Wasser sprechen kann, denn es entsteht bei diesem Processe weder Wasserstoff noch Kohlenoxyd oder Kohle, sondern eben nur organische Substanz, in der beide Elemente vertreten sind. Wie die Atome der einzelnen constituirenden Bestandtheile in der organischen Substanz gelagert sind, denn darauf

*) Compt. rend. T. 53. p. 862 u. f.

kommt doch die Frage bei näherer Betrachtung hinaus, darüber kann schliesslich nur das Studium des chemischen Verhaltens der gebildeten Substanz entscheiden.

Es darf indessen nicht unterlassen werden, darauf hinzuweisen, dass jene Liebig'sche Vorstellung mit einer andern Lieblingshypothese von ihm in engem Zusammenhange steht, nach welcher man nicht gezwungen wird, eine sofortige Reduktion der Kohlensäure anzunehmen, indem er die Entstehung der organischen Substanz nicht auf einmal, sondern gleichsam ruckweise vor sich gehen lässt und zuerst Oxalsäure, dann unter succesiver Sauerstoffabgabe Weinsäure, Aepfelsäure, Citronensäure und endlich neutrale Kohlehydrate sich bilden lässt.*) Diese Anschauung steht wieder mit einer weiteren Hypothese über die Funktion der basischen Aschenbestandtheile, für deren Unentbehrlichkeit eine plausible Erklärung gesucht wird, in Zusammenhang — ein Gegenstand, der uns später beschäftigen wird. Die Oxalsäure kann nemlich ihrer Formel C_2 H_2 O_4 nach aus Kohlensäure und Wassertoff entstehend gedacht werden.

Wir müssen jedoch in diesen Dingen die phantasievolle Spekulation für gefährlich erachten und die in Rede stehende Hypothese als mit den Thatsachen nicht in genügender Uebereinstimmung und ausserdem als in sofern unnütz bezeichnen, als durch die ruckweise Arbeit dieselbe in keiner Weise erleichtert wird und offenbar mit derselben Kraftmenge eine entsprechend kleinere Menge Stärkmehl durch direkte Reduktion, als eine grössere Menge Oxalsäure (die dann erst durch weitere Arbeit nach und nach in reducirtere Verbindungen verwandelt werden müsste) gebildet werden kann. Was die Uebereinstimmung mit den Resultaten der Untersuchungen d. h. also das Vorkommen der Pflanzensäuren in den verschiedenen Pflanzenorganen und dessen Beziehung zu den Orten der Produktion betrifft, so kommen wir zum Theil erst später auf diesen Gegenstand zu sprechen, können aber hier schon hervorheben, dass keine derartige Relation, wie wir sie zwischen dem Auftreten der Stärkeeinschlüsse und den Bedingungen der Sauerstoffabscheidung gefunden haben, jemals für die Pflanzensäuren nachgewiesen worden sind. Im Gegentheil hat man z. B. bei manchen Pflanzen mit fleischigen Blättern **) gerade in der Nacht Säure auftreten sehen, die bei Tage wieder verschwindet, und auch sonst spricht Mancherlei dafür, dass die Säuren durch einen umgekehrten Process, dem Oxydationsprocess Entstehung nehmen und eher als Ausscheidungsprodukte als als Bildungsmaterial aufzufassen sind. Wir werden also diese Hypothese als eine unnütze und überdies den beobachteten Thatsachen nicht entsprechende bei Seite liegen lassen. ***)

---

*) Vergl. die Ansichten anderer Forscher über diesen Gegenstand bei Rochleder: Chem. u. Physiol. d. Pfl. 1858 p. 108 u. f.

**) Mohl: die veget. Zelle p. 248 Anmerkung.

***) Es ist eine sehr bedeutsame Thatsache, dass die Anschauung, die Kohlehydrate seien das erste Produkt des in der chlorophyllhaltigen Zelle sich vollziehenden Reduktionsprocesses, welche im Texte als hervorgehend aus pflanzenphysiologischen Beobachtungen behandelt worden ist, soeben (da ich die letzte Hand an mein Manuscript lege) eine deduktive Bestätigung von Seiten der theoretischen Chemie erfahren hat. — Adolf Baeyer schliesst (Berichte der deutschen chem. Gesellsch. 1870. III. p. 63) aus den Strukturverhältnissen der Kohlehydrate (des Zuckers) — nach einer Methode, welche auch für physiologische Probleme sehr fruchtbar zu werden verspricht, — dass voraussichtlich diese Stoffe und nicht (wie er

Man hat die schon in ihrer Aufstellung völlig ungerechtfertigte Frage, ob der aus der chlorophyllhaltigen Zelle abgeschiedene Sauerstoff der Kohlensäure oder dem Wasser entstamme, noch weiter debattirt und theilweise auf eine sehr merkwürdige Weise zu beantworten gesucht. Die älteren Physiologen glaubten principiell verneinen zu müssen, dass auch das Wasser reducirt werden könne, hatten also ebenfalls auf deduktivem Wege ein Resultat erhalten, das genau der strikte Gegensatz zu der Liebig'schen Folgerung bildete. De Saussure suchte aber einen experimentellen Beleg für diese Anschauung beizubringen, indem er eine Pflanze in einer Atmosphäre, die frei war von Kohlensäure, auf ihre Fähigkeit, Sauerstoff abzuscheiden. untersuchte. Konnte das Wasser zersetzt werden, so schloss derselbe, so musste auch unter diesen Umständen, wo Kohlensäure fehlte und nur Wasser vorhanden war, die Sauerstoffentwickelung ungestört eintreten, und da unter solchen Umständen diese selbstredend nicht eintrat, so glaubte er seine theoretische Beantwortung auf experimentellem Wege bestätigt zu haben.

Wir werden gleich bei der Betrachtung der weiteren bekannten direkten Assimilationsprodukte sehen, dass *unter gewissen thatsächlich bestehenden Umständen* (wenn wir die schon als sonderbar bezeichnete Fragestellung beibehalten) allerdings, ebenso wie vorhin gezeigt worden ist, dass die Reduktion des Wassers *allein* nicht zur Erzeugung der zu bildenden organischen Substanz ausreicht, berechnet werden kann, dass auch die Abscheidung des Sauerstoffs des Wassers mit zu diesem Vorgang vorausgesetzt werden muss.

Es ist klar, dass, wäre das Stärkemehl allein und unter allen Verhältnissen das erste Produkt des Reduktionsprozesses in der chlorophyllhaltigen Zelle, die de Saussure'sche Annahme sich experimentell niemals widerlegen liesse, wenn auch gegen seine Auffassung (wie wir nun nicht mehr hervorzuheben brauchen) Protest eingelegt werden müsste. Allein schon gewisse Erfahrungen an unsern gewöhnlichsten Pflanzen, wie sie z. B. durch andere Untersuchungen Boussingault's gemacht worden sind, scheinen darauf hinzudeuten, dass dem nicht so ist, dass vielmehr die Annahme nothwendig wird, es werde zuweilen Etwas mehr Sauerstoff ausgegeben, als in der aufgenommenen Kohlensäure enthalten sei, wenn auch dieses Resultat durch blosses Messen der Gase nicht zu Tage gekommen ist. Derselbe erzog eine Anzahl verschiedener Pflanzen, theils aus dem Samen, theils aus schon entwickelteren Keimlingen, nachdem die Elementarzusammensetzung der organischen Trockensubstanz dieser letzteren ermittelt worden war. Nachdem die Pflanzen eine Zeit lang in einem von organischen Stoffen freien Boden gewachsen waren und durch die Produktionsthätigkeit an Trockengewicht erheblich zugenommen hatten, wurde wiederum der Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff (und auch an Stickstoff) festgestellt und auf diese Weise folgender Zuwachs an Wasserstoff und Sauerstoff über den ursprünglichen Gehalt hinaus gefunden *):

als allgemein angenommen wähnt) die höher oxydirten Pflanzensäuren aus der Kohlensäure und dem Wasser unter gleichzeitiger Abscheidung von Sauerstoff in der Pflanze gebildet würden.

*) Vergl. Boussingault: Die Landwirthschaft etc. 1848 p. 59.

		Wasserstoff.	Sauerstoff.	Wasserstoff im Ueberschuss.
Aus dem Samen	Klee	0,176 Gr.	1,226 Gr.	0,023 Gr.
	Erbsen	0,215 „	1,237 „	0,060 „
	Weizen	0,078 „	0,608 „	0,002 „
versetzt . . .	Klee	0,097 „	0,444 „	0,042 „

Hatte keine Reduktion von Wasser stattgefunden, so konnte neben einem beliebigen Zuwachs an Kohlenstoff der Zuwachs an Wasserstoff keinenfalls das Verhältniss zum Zuwachs an Sauerstoff überschreiten*), in welchem beide zusammen Wasser bilden. Dies findet jedoch statt, denn denkt man sich allen in der Tabelle verzeichneten Sauerstoff mit der entsprechenden Menge (1/8) Wasserstoff zu Wasser verbunden, so bleiben noch die in der dritten Columne der Tabelle angeführten Mengen an Wasserstoff übrig, die jedenfalls also, auch bei der ungünstigsten Annahme, durch Reduktion von Wasser in die Pflanze gelangt sind. Bei diesem Versuch hat Boussingault selbst den möglichen Einwurf beseitigt, dass jener Ueberschuss an Wasserstoff durch Ammoniak in die Pflanze gelangt sei, indem er den ganzen Stickstoffzuwachs als in Form von Ammoniak sich aufgenommen dachte und zeigte, dass auch für diese Annahme eine kleine Menge von Wasserstoff noch unverfügbar bleibt, d. h. durch Reduktion aus Wasser entstanden gedacht werden muss.

Es ist also durch diesen Versuch entschieden, dass mindestens ein Theil des von der Pflanze ausgeschiedenen Sauerstoffs Bestandtheil des Wassers war, dass (will man, wie man dies früher that, Kohlensäurezersetzung und Wasserzersetzung als zwei getrennte Vorgänge auffassen) nicht blos nothwendig Kohlensäurezersetzung, sondern auch wenigstens für manche Fälle nothwendig Wasserzersetzung angenommen werden muss.

Das vorhin angeführte negative Resultat de Saussure's darf uns nicht befremden, denn dieser hatte bei seiner Versuchsanstellung eine nothwendige Bedingung dieser Wasserzersetzung, nemlich Anwesenheit von assimilirbarer Kohlensäure absichtlich unerfüllt gelassen, indem er nicht bedachte, dass die Erzeugung von organischer Substanz ein Process ist, zu dem Wasser und Kohlensäure *gleichzeitig* als Rohmaterial erforderlich sind, dass man es eben nicht mit zwei getrennten Reduktionen, sondern mit einem einzigen Vorgange zu thun hat, dass die Reduktion des Wassers bei Abwesenheit von Kohlensäure in der Pflanze geradeso unmöglich ist, wie die Reduktion der Kohlensäure bei Abwesenheit des Wassers.

Die Boussingault'sche Beweisführung hat indessen noch eine weitergehende Bedeutung für uns. — Wenn durch dieselbe gezeigt wird, dass mehr Sauerstoff bei der Erzeugung von organischer Substanz ausgeschieden wird, als in der hierzu nothwendigen Kohlensäure vorhanden sein konnte, so wird zu gleicher Zeit gezeigt, dass die gebildete organische Substanz nicht allein aus Stärkemehl oder anderen Kohlehydraten bestehen kann, sondern dass mit dem Stärkemehl auch reducirtere organische Substanz, Körper, bei denen der Sauerstoffgehalt geringer ist, als um mit dem vorhandenen Wasserstoff Wasser zu bilden, Entstehung nehmen müssen.

*) Der Einwurf, der hier möglich erscheint, indem die sekundären das Resultat alterirenden Processe der Athmung etc. nicht berücksichtigt wurden, wird sogleich im Texte beseitigt werden.

Es kann freilich nicht geläugnet werden, dass durch sekundäre Processe aus den Kohlehydraten reducirtere und oxydirtere Körper entstehen können, durch Processe (Spaltungs- und Oxydationsprocesse), zu deren Verlauf kein „kraftfixirender" Apparat wie die chlorophyllhaltige Zelle erforderlich ist, doch ist es durch mikroskopische Beobachtungen sehr wahrscheinlich gemacht, dass gerade solche Körper, die sauerstoffärmer sind, als die Kohlehydrate, direkte Assimilationsprodukte der chlorophyllhaltigen Zelle mancher Pflanzen sein können. Wenigstens finden sich in den Chlorophyllkörnern der Zellen mancher Pflanzen, wie z. B. von Cacteen, Desmidieen und Zygnemaceen *) regelmässig Einschlüsse, die dem Augenschein nach und einigen mikrochemischen Reaktionen gegenüber sich als Fetttröpfchen bekunden und wohl als direkte Assimilationsprodukte aufzufassen sind; aber dergleichen Vorkommnisse sind gegenüber dem fast ausnahmslosen Auftreten der Stärkemehlkörner in den Chlorophyllmassen erwachsener Pflanzentheile, verschwindende Seltenheiten.

Ob nun die reducirteren, der Fettgruppe angehörigen Stoffe, die in den Boussingault'schen Versuchspflanzen nothwendig sich gebildet haben müssen, durch sekundäre Processe (Spaltung unter Ausgabe von Kohlensäure) oder durch direkte Bildung neben dem Stärkemehl Entstehung genommen haben, kann natürlich vorerst nicht entschieden werden, und ist auch für den von Boussingault zu erbringenden Beweis gleichgültig, indem es sich nicht darum handelt, ob das zur Bildung von organischer Substanz herangezogene *Wasser, direkt bei dieser Bildung oder erst später bei weiterer Umwandlung eines Theils seines Sauerstoffs verlustig gegangen ist.* Hier ist es aber wichtig, hervorzuheben, dass unter gewissen Umständen mit Wahrscheinlichkeit solche reducirtere Körper direkte Assimilationsprodukte der chlorophyllhaltigen Zelle sind.

Wir werden auch einen Blick auf den Chemismus der Produktion dieser Klasse organischer Substanzen zu werfen haben.

Wenn die empirische Formel eines Kohlehydrats im Allgemeinen geschrieben werden kann: $C_x\ H_{2y}\ O_y$, wo x und y entweder gleich, oder y nur wenig kleiner ist als x, so kann die allgemeine empirische Formel eines Fett's geschrieben werden: $C_x\ H_{2y}\ O_{y-v}$, wo x und y häufig nahezu gleiche Werthe haben und v stets einen beträchtlichen Bruchtheil ausmacht von x oder y.

Der chemische Vorgang des Entstehens eines solchen Fettes aus Kohlensäure und Wasser wäre dann statt dem Allgemeineren, das für Kohlehydrate und Fette gilt,

$$x\ CO_2 + y\ H_2\ O = C_x\ H_{2y}\ O_{2x+y-z} + z\ O$$

folgender:

$$x\ CO_2 + y\ H_2\ O = C_x\ H_{2y}\ O_{y-v} + (2x + v)\ O,$$

wo $z = 2x + v$, d. h. grösser als 2x ist, wo also — dies wird durch die Gleichung ausgedrückt — mehr Sauerstoff direct entbunden wird, als vorher in der Kohlensäure vorhanden war. Nehmen wir einen beliebigen, den Fetten angehörigen Körper, z. B. das Trioleïn, so gestaltet sich die Gleichung:

$$57\ CO_2 + 52\ H_2\ O = C_{57}\ H_{104}\ O_6 + 160\ O,$$

wo x nahe y und $v = 46$, also ein beträchtlicher Bruchtheil von x und y ist.

*) Hofmeister: Handbuch der physiol. Botanik. B. I. p. 874.

Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass neben dem so regelmässig auftretenden Stärkemehl, als directes Assimilationsprodukt, auch noch ein anderes Kohlehydrat in einigen Fällen aufzutreten scheint. Es kann dies zwar nicht durch unmittelbare mikroskopische Beobachtung festgestellt werden, da das betreffende Kohlehydrat in gelöster Form aufzutreten pflegt, wird aber durch chemische Reaktionen wahrscheinlich gemacht. Dieses Kohlenhydrat ist ein Zucker und wohl mit dem Fruchtzucker der Chemiker $C_6 H_{12} O_6$ identisch. Die physiologische Beziehung dieser Zuckerart zu dem Stärkmehl scheint in der That, wie wir später zeigen werden, so innig zu sein, dass uns das Auftreten dieses Kohlehydrats an Stelle jenes normalen direkten Assimilationsproduktes nicht Wunder nehmen kann. Es scheint indessen erst für Allium Cepa (Zwiebel) mit Sicherheit die direkte Bildung von Zucker nachgewiesen zu sein.

Die allgemeine Bildungsformel der Kohlehydrate

$$x\,CO_2 + y\,H_2\,O = C_x\,H_{2y}\,O_y + 2x\,O$$

wird bei diesem speziellen Fall

$$6\,CO_2 + 6\,H_2\,O = C_6\,H_{12}\,O_6 + 12\,O$$

$$\text{wo } x = y;$$

eine Ausdrucksweise, die keiner weiteren Erläuterung mehr bedarf.

Weitere Produkte, die direkt aus der Verarbeitung von Kohlensäure und Wasser entstehen, hat man bis jetzt nicht beobachtet. Obgleich die Anzahl der in Pflanzen durch spätere Processe gebildeten organischen Stoffe eine so grosse ist, dass es schwer wird, auch nur einen Ueberblick über dieselben zu erlangen, so gehen doch alle diese Stoffe von so mannigfaltigen Eigenschaften aus diesen wenigen, deren Bildung nur in der chlorophyllhaltigen Zelle stattfindet, hervor. Zu diesen Umbildungen ist dann, wie wir später sehen werden, keine Kraft mehr nothwendig. die eine chemische Arbeit leistet; sie sind alle „chemische Reaktionen" im gewöhnlichen und früher erläuterten Sinne des Worts, und desshalb sind sie vom Vorhandensein eines Apparats, wie des der chlorophyllhaltigen Zelle unabhängig. Die allgemeinen Gesichtspunkte, unter denen solche Umwandlungen stattfinden, sollen in einer der nächsten Vorlesungen besprochen werden.

Hiermit haben wir nun unsere Kenntnisse von dem in der chlorophyllhaltigen Zelle sich vollziehenden Fundamentalprocesse der Pflanze, der die Grundlage bildet, ohne welche uns die Funktion der Pflanzenwelt völlig unverständlich bleiben muss, und den wir desshalb mit solch' erschöpfender Ausführlichkeit behandelt haben, dargelegt und so gut als möglich erläutert.

Fassen wir, ehe wir diese Vorlesung schliessen, die Hauptsätze über diesen Process, zu denen wir durch unsere Untersuchungen gelangt sind, noch einmal kurz zusammen:

1) Die Pflanzenwelt hat die Fähigkeit, organische Substanzen aus Kohlensäure und Wasser zu erzeugen.
2) Diese Fähigkeit ist ausschliesslich an die chlorophyllhaltige Zelle, das Elementarorgan der grünen Pflanzentheile gebunden. Alle Pflanzentheile und Pflanzen, die keine chlorophyllhaltigen Zellen enthalten, besitzen diese Fähigkeit nicht und sind gezwungen, gleich den Thieren ihre kohlenstoffhaltigen Bestandtheile aus schon vorgebildeter organischer Substanz zu nehmen.

3) Die Bildung von organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser ist eine chemische Arbeit, und desshalb ist zu jener Bildung in der Pflanze eine Kraft erforderlich, die jene Arbeit leistet.
4) Diese Kraft ist das Licht (in der Natur immer das Sonnenlicht), und somit stellt das Vorhandensein von Licht eine weitere Bedingung der Erzeugung von organischer Substanz dar.
5) Die Strahlengattung, welche die chemische Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle leistet, liegt in dem weniger brechbaren Theil des leuchtenden Spektrums, während diejenigen Strahlen, welche vorzugsweise ausserhalb jenes physiologischen Apparates chemische Arbeiten anderer Art zu verrichten pflegen, hierbei unthätig sind.
6) Ein gewisser Temperaturgrad ist gleichfalls erforderlich zur Bildung von organischer Substanz in den grünen Pflanzenorganen und zwar bei verschiedenen Pflanzenarten verschiedene, wenn auch nicht weit auseinander liegende Temperaturen.
7) Der Chlorophyllfarbstoff, der aus der chlorophyllhaltigen Zelle gewonnen werden kann, ist ausserhalb der Zelle unter Erfüllung der übrigen zur Produktionsarbeit für nothwendig erkannten Bedingungen unfähig, die Bildung von organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser einzuleiten.
8) Wenn es uns trotzdem auch ausserhalb von Organismen gelingt, organische Substanzen aus Kohlensäure zu erzeugen, so geschieht dies bis dahin immer unter Inanspruchnahme von innern, chemischen und nicht von äusseren Kräften.
9) Die Fluorescenzerscheinung des Chlorophylls bietet mit Wahrscheinlichkeit der grünen Pflanze den Vortheil dar, dass so auch die direkt nicht nutzbaren, sehr brechbaren Strahlen, in weniger brechbare nutzbare verwandelt werden.
10) Die direkt in der chlorophyllhaltigen Zelle aus Kohlensäure und Wasser gebildete organische Substanz ist in weitaus den meisten Fällen das Stärkemehl, das sich den Chlorophyllkörnern dann eingebettet zeigt, in seltneren Fällen auch wohl fettes Oel und das dem Stärkemehl physiologisch ziemlich gleichwerthige Produkt, Zucker (Glycose).

Fünfte Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Existenzbedingungen des Chlorophyllapparates. — Allgemeinere Betrachtungen.

Es wird uns nach dem Vorhergehenden zunächst interessiren, Etwas von den Bedingungen kennen zu lernen, die zum Entstehen und Bestehen des in den früheren Vorlesungen als so wichtig erkannten Apparates, der chlorophyllhaltigen Zelle unerlässlich sind, obgleich diese Gegenstände für die Ernährungslehre von nur sekundärem Interesse sind. Es ist aber schon desshalb nothwendig, etwas auf diese Bedingungen

einzugehen, damit wir das Leben sonst chlorophyllgrüner Pflanzen bei Ausschluss des Lichts — und dies ist ein Gegenstand, dessen Betrachtung sich als sehr lehrreich erweisen wird — völlig verstehen lernen.

Das Protoplasma einer chlorophyllhaltigen Zelle ist nicht etwa bei deren ersten Anlage schon grün, sondern, damit es die grüne Färbung annehme und so der Apparat ausgebildet werde, wo Produktion von organischer Substanz von Statten gehen kann, müssen eine Reihe von Umständen erfüllt sein, die wir sogleich betrachten werden.

Man braucht nur die etwas versteckter liegenden Blattknospen zu durchbrechen, wo man also mit aller Bestimmtheit weiss, dass man es mit Geweben zu thun hat, die schon bei ihrem Hervortreten aus der Knospe, bei ihrer Entfaltung zu Blättern mit intensivem Grün gesättigt erscheinen werden, und man wird mehr im Innern derselben völlig ungefärbte Gewebspartien wahrnehmen. Deutlicher lässt sich die Sache allerdings machen, wenn man solche Knospen in früher Zeit (oder auch die Plumula eines Embryo) mikroskopisch untersucht, zur Zeit, wo nahe dem Vegetationspunkt die Blätter erst als einzelne Zellen angelegt werden. Man kann so klar erkennen, dass zu dieser (und noch zu viel späterer Zeit) Nichts von grüner Färbung in dem Protoplasma der Zellen und Zellcomplexe vorhanden ist. Es ist also ersichtlich, dass die Chlorophyllkörner *) sich nicht etwa stets aus sich selbst bilden, indem jede neue chlorophyllführende Zelle aus einer solchen, schon vorhandenen Entstehung nehmen müsste — was übrigens auch schon durch die Thatsache der Entwickelung grüner Organe aus noch ungefärbten Samen und andern chlorophylllosen Geweben widerlegt wird — sondern, dass dieselben sich aus dem bis dahin farblosen Protoplasma einer Zelle müssen entwickeln können.

Als Bedingung der Entwickelung des farblosen Protoplasmas zu Chlorophyllkörnern spielt wiederum *das Licht* eine hervorragende Rolle. Nur in ganz vereinzelten Fällen (Cotyledonen von Thuja und Pinus) findet auch in tiefer Finsterniss das Ergrünen des Protoplasma gewisser Zellen statt; — *im Allgemeinen ist hiezu ziemlich intensives Licht erforderlich.*

Dabei muss unterschieden werden zwischen *Ergrünen* und der dem Ergrünen vorausgehenden *Zerklüftung des Protoplasmas.* Der Zellinhalt von Zellen, die sich zu chlorophyllhaltigen Zellen zu entwickeln im Begriffe steh'n, muss nothwendig, ehe derselbe ergrünt, gewisse Gestaltsveränderungen durchmachen, die Formung der Körper vornehmen, die später zu Chlorophyllkörpern werden. Diese Gestaltsveränderungen des Protoplasma sind häufig wieder an andere Bedingungen gebunden als das Ergrünen selbst. So soll die Zerklüftung **) der noch farblosen Grundmasse des Chlorophylls bei den Cotyledonen mancher Sämlinge, wie z. B. von Helianthus annuus auch in tiefer Finsterniss vor sich gehen, während das Ergrünen selbst der so gebildeten Körper nothwendig im Lichte geschehen muss. Dagegen hat man

*) Uebrigens haben die Chlorophyllkörner in vielen Fällen die Fähigkeit, sich, nachdem sie eine Zeit lang gewachsen sind, durch Theilung zu vermehren, besonders in Zellen die nach Ausbildung der Chlorophyllkörner noch ein bedeutendes Wachsthum zeigen, so bei Moosen und Algen. Vergl. Hofmeister: Lehre von der Pflanzenzelle. Bd. I p. 372.

**) J. Sachs: Handbuch der Expor. Phys. d. Pfl. p. 9 u. 313 u. f.

gefunden, dass zu dieser Vorarbeit bei vielen anderen Pflanzen, z. B. Zea Mais, Vicia faba, Phaseolus vulgaris ebenfalls Belichtung erforderlich ist. Wo, wie bei vielen niedrigen Pflanzen, keine bemerkbare Sonderung der Chlorophyllkörper und des farblosen Protoplasma's eintritt, wo wie bei Palmellaceen und Protococcaceen fast das ganze Protoplasma nach der Ausbildung des Chlorophylls homogen grün gefärbt erscheint, da kann natürlich auch nicht von Sonderung jener beiden Vorgänge und von gesonderten Bedingungen dieser Vorgänge die Rede sein.

In Bezug auf die Lichtintensitäten, die zum Ergrünen des chlorophyllbildenden Protoplasma's erforderlich sind, hat man die merkwürdige Thatsache aufgefunden, dass die starke Intensität des direkten Sonnenlichts weniger günstig wirkt, als die schwächere *) bei künstlicher Beschattung des ergrünenden Organs.

Betreffs der Strahlengattungen, welche für diese Wirkung auf die Ausbildung des Chlorophylls in Betracht kommen, hat man durch Anwendung ganz ähnlicher Apparate, wie bei der Untersuchung der Lichtwirkung auf die Sauerstoffabscheidung gefunden, dass nicht alle Strahlen verschiedener Brechbarkeit gleichmässig auf das Ergrünen wirken, sondern dass hierbei sich auch die hellleuchtenden Strahlen vor den brechbareren und weniger brechbaren dunkeln entschieden auszeichnen. Guillemain **) hat sich zur Ermittelung dieses Sachverhalts noch einer anderen, in den wenigen Fällen, wo sie angewendet werden kann, vorzüglichen Methode bedient, indem er die im Dunkeln erwachsenen Keimpflanzen in die verschiedenen durch Schirme von einander gesonderten Abtheilungen des Sonnenspectrums brachte. Auch auf diese Weise wurde deutlich nachgewiesen, dass im gelben ***) und orangen Theil des Spektrums das Ergrünen am raschesten vor sich ging, während nach Rechts und Links ein bedeutender Abfall zu bemerken war.

Auch der Process des Ergrünens hat sich ferner als abhängig erwiesen von einem gewissen Temperaturgrade, wie ja alle physiologischen Vorgänge von einem solchen abhängig sind, und zwar hat man auch hier wieder gefunden, dass bei verschiedenen Pflanzen verschiedene Temperaturen zu diesem Vorgang erforderlich sind. Etwas scheint jedoch nach einer Reihe von Beobachtungen für denselben unter allen Umständen charakteristisch zu sein, nemlich, dass das Temperaturminimum, das zum Zustandekommen desselben erforderlich ist, höher liegt, als die untere Temperaturgrenze, die dem Vorsichgehen der Wachsthumserscheinungen und der Formänderungen der Pflanzen gesetzt ist. In Folge dessen sieht man in kühlen Frühsommern viele Pflanzen, namentlich auch Kulturgewächse wie Mais, ganz gewöhnlich auch Winterroggen, neue Triebe machen, die aber nicht grün, sondern nur schwach gelblich gefärbt sind. Diese Erscheinung, die sehr allgemein bekannt ist, wird auch vom Praktiker ganz richtig auf die Kälte gedeutet. Dagegen ist, wie gesagt, die Licht-

*) Siehe Famintzin: Pringsh. Jahrb. 1868 a. a. O; und die frühere nunmehr verlassene Deutung bei Sachs a. a. O. p. 12. Eine vollkommene Bestätigung der Resultate Famintzin's bei Prillieux: Compt. rend. T. 69 p. 1023.

**) Ann. des scienc. nat. 1857 VII p. 160.

***) v. Wolkoff liess das Ergrünen von lepidium sativum sogar im Lichte der rein gelben Natriumflamme vor sich gehen. Vergl. Pringsh. Jahrbücher V. p. 11.

intensität nicht sehr bedeutend, die zum Ergrünen erforderlich ist, und so gelingt es auch leicht, durch irdische Lichtquellen *) diesen Vorgang zu bewirken.

Der Einfluss des Lichts auf das Ergrünen scheint ferner völlig *local* zu sein, obgleich von einer Seite das Gegentheil behauptet worden ist, d. h. es ergrünen nur die Stellen eines Blattes, die direkt exponirt worden sind und nicht die dieser Stelle benachbarten, wenigstens sind die Sachs'schen **) Versuchsresultate so zu deuten.

Dies wären ungefähr die äusseren Bedingungen, die nothwendig erfüllt sein müssen, damit der Apparat, welcher später in der Pflanze zur Produktion von organischer Substanz dient, in richtiger Weise ausgebildet wird. Auch hier spielt das Licht wieder eine hervorragende Rolle, aber wie aus einigen gemachten Mittheilungen hervorgeht, keine Rolle, die nicht unter Umständen vertreten werden könnte. Während das Licht dort als ausnahmslos unerlässlich zur Bildung der organischen Substanz gefunden wurde und auch die Theorie auf die unumgängliche Nothwendigkeit eines solchen Verhaltens hinweist, kann der eben in Rede stehende Vorgang wenigstens bei einigen Pflanzen in vollkommener Finsterniss vor sich gehen.

Auch zur Erhaltung des Chlorophyllapparats in der lebenden Pflanze ist das Licht unerlässlich. Die grünen Blätter der Pflanze werden schon, einige Tage in mässiger Dämmerung gehalten, schwächer grün. Häufig besitzt schon der von den Fenstern entferntere Theil eines mässig hellen Zimmers nicht Lichtintensität genug, um eine solche blassere Färbung und mit der Zeit eine völlige Desorganisation des Chlorophyllapparats zu verhüten. Allerdings bieten sich der eingehenderen Untersuchung dieser Abhängigkeit wieder auffällige Unterschiede bei den einzelnen Pflanzengattungen dar. So können viele sogenannte Blattpflanzen ***) lange in schlecht erleuchteten Räumen, ohne zu verbleichen, ausharren, und namentlich soll die Aspidistra in dieser Hinsicht ausserordentlich unempfindlich sein.

Auf die mehr in's morphologische Gebiet gehörigen Aenderungen, die durch Licht und Finsterniss namentlich in Bezug auf die Stellung der Chlorophyllkörner innerhalb der Zelle bewirkt werden, können wir hier selbstverständlich nicht eingehen.

Wir sind aber nunmehr genugsam mit Kenntnissen ausgerüstet, um das Leben der Pflanzen bei Abschluss vom Licht verstehen zu lernen und um die hauptsächlichen Veränderungen in der Ernährung, die alle in der Dunkelheit erzogenen aber nur am Lichte normal gedeihenden Pflanzen erleiden, zu begreifen.

Ich stelle hierhin drei Blumentöpfe, in denen sich Pflanzen befinden. Auf den ersten Blick erkennt man, dass die Pflanzen in einem der drei Töpfe junge Erbsenpflanzen sind. Die Pflanzen in den beiden andern Töpfen erscheinen dagegen fremdartig; man wagt nicht, eine Bestimmung so geschwind vorzunehmen. Und gleichwohl kann ich versichern, dass auch diese Pflanzen aus Erbsensamen erwachsen sind, nur unter etwas anderen Bedingungen. Die langgestreckten völlig bleichen

---

*) P. de Candolle: Mém. prés. à l'institut des scienc. 1806. T. I. p. 332 und Hervé Mangon: Compt. rend. 1861. p. 243. Ferner v. Wolkoff a. a. O.

**) Vergl. J. Sachs a. a O. p. 11.

***) Ferd. Cohn: Licht und Leben. 1869. p. 31. Anm. 15.

Pflanzen mit den äusserst kleinen Blättern in dem einen Topf hier sind bei völligem Lichtabschluss, die fast ebenso gestaltbeten aber grünen Pflanzen in dem andern Topfe bei sehr geringer Lichtintensität in dem vom Fenster abgelegenen Raume eines Zimmers erwachsen. Die Samen in allen drei Töpfen wurden vor 4 Wochen gleichzeitig eingelegt in die gleiche Erde; die jungen Keimpflanzen hatten in allen drei Töpfen die gleiche Nahrung, die gleiche Luft, den gleichen Raum für Entfaltung ihrer Organe zur Verfügung, und dennoch sehen wir heute ein so verschiedenes Resultat vor uns, dass wir kaum wagen, die so verschieden aussehenden Pflanzen als ein und dieselbe Species in ein und demselben Vegetationsstadium anzuerkennen.

Die verschiedenen Mengen von Licht, die in den drei Fällen den Pflanzen zu Gebote standen, haben diese verschiedene Ausbildung bewirkt, und wir sind nun im Stande, schon nach dem blossen Augenschein Einiges über den Einfluss des Lichts auf die Entwickelung der Pflanzen auszusagen. Zunächst fällt uns die weit gedrungenere, kurzgliedrige und breitblättrige Gestaltung der im vollen Lichte gewachsenen Pflanzen im Vergleich mit den äusserst schlaffen, blos in die Länge entwickelten Formen der bei geringer Lichtintensität oder vollkommener Dunkelheit erzogenen Pflanzen auf. Dies sind Unterschiede, die für den Morphologen hohe Bedeutung haben, auf die wir aber hier nicht weiter eingehen werden. Wir benutzen diese Gestaltsveränderungen *) der Pflanzen bei Abschluss des Lichts nur als Symptome für weit wichtigere Veränderungen in den Ernährungsverhältnissen, mit deren Betrachtung wir uns zu beschäftigen haben.

Neben dieser so merkwürdigen Gestaltsveränderung bei Ausschluss des Lichts erregt zunächst die verschiedene Färbung unsere Aufmerksamkeit. Die Pflanzen, die bei völligem Ausschluss von Licht erwachsen sind, zeigen von der gewöhnlichen grünen Farbe Nichts, der Apparat der chlorophyllhaltigen Zelle hat in ihm nicht zur völligen Entwickelung kommen können. Die Pflanzen, die nur wenig Licht zu ihrer Verfügung hatten und in Folge dessen nahezu die gleiche Formverzerrung zeigen, wie die in vollkommener Finsterniss erwachsenen, sind grün, wenn auch blass grün, während die unter ganz natürlichen Verhältnissen erwachsenen Pflanzen auch ihre gewohnte sattgrüne Färbung zeigen. Wir sehen hieraus, dass zur Bildung des Chlorophylls, wie ich schon als Resultat dahin gerichteter Versuche mitgetheilt habe, ein sehr geringes Lichtquantum ausreichend gewesen ist, ein so geringes, dass an eine normale Gestaltung der Pflanzen nicht gedacht werden konnte.

Man pflegt die Pflanzen, die bei mehr oder weniger vollkommnem Ausschluss von Licht erwachsen sind und dabei die eben von uns beobachtete Gestaltsausbildung und fahlgelbe Färbung erlangt haben, als *etiolirt oder bleichsüchtig* zu bezeichnen und auch wir werden uns fernerhin dieses Ausdrucks häufiger bedienen.

Ein weiterer Unterschied solcher etiolirten Pflanzen von den unter normalen Verhältnissen gewachsenen lässt sich indessen nicht durch blosse Anschauung constatiren. Dazu bedarf es der Wage; und ein dahin gerichteter Versuch lässt sich

*) Wer sich für die Wirkung des Lichts auf die Formbildung der Pflanzen eingehender interessiren sollte, den verweise ich auf die ausführliche Darstellung jenes Gegenstandes in dem mehrfach angeführten Handbuch von J. Sachs p. 80.

nicht in der Vorlesung anschaulich machen. Wir müssen daher das stets übereinstimmende Resultat desselben auf Treu und Glauben hinnehmen.

Wenn man nemlich die ursprünglich ausgelegten Samen genau wägt, ausserdem den Gehalt dieser Samen an organischer Substanz (durch Bestimmung des Wasser- und Aschen-Gehalts in ganz gleichartigen Samen) bestimmt, was mit grosser Genauigkeit gelingt, und dann die aus solchen Samen erwachsenen Pflanzen von Neuem einer solchen Bestimmung der organischen Substanz unterwirft, so gelangt man ausnahmslos zu dem Resultat, dass blos die im Lichte erwachsenen Pflanzen einen Zuwachs an organischer Substanz zeigen, ihr Samengewicht vermehrt haben, dass dagegen alle etiolirten Pflanzen, denen während ihrer Entwickelung kein Licht zu Gebote stand, eine Verminderung ihres Samengewichts erlitten haben.

Es muss, um dies Verhalten völlig zu verstehen, vorausgeschickt werden, dass, wie wir in spätern Vorlesungen sehen werden, alle lebenden Pflanzen ohne Ausnahme, sie mögen nun von organischen Stoffen leben, oder wegen mangelnden Chlorophyll-Organs auf organische Nahrung angewiesen sein, zu jeder Zeit einen Process in sich unterhalten, durch den fortdauernd organische Substanz verloren geht, dass also die Pflanze, die aus irgend einem Grunde an Assimilation von neuer organischer Substanz verhindert ist, nicht still steht, sondern nothwendig rückwärts geht, genau wie das hungernde Thier.

Mit Berücksichtigung dieser Thatsache nun sind wir völlig in Stand gesetzt, das vorhin angeführte Verhalten der Pflanze bei Lichtabschluss oder geringer Lichtintensität zu verstehen. Da es derselben aus zwei Gründen, einmal wegen Mangel des Chlorophylls, das sich nur im Lichte bildet, dann, auch wenn das producirende Organ vorhanden wäre, wegen Mangel an der die chemische Arbeit vollziehenden Kraft, unmöglich ist, organische Substanz in sich zu bilden, und durch jene andern Processe, die sich in jeder lebenden Pflanze, wie überhaupt in jedem lebenden Organismus vollziehen, fortdauernd organische Substanz verloren geht, so muss die Pflanze fortdauernd abnehmen; sie ist genau in demselben Zustande wie ein Thier, dem man seine Nahrung vorenthält, und nur auf die organische Substanz ihres eigenen Leibes angewiesen. Eine jede etiolirte Pflanze befindet sich also in einem wahren Hungerzustande, und nur der Umstand macht die Erscheinung etwas verwickelter, dass es bei derselben *gleichzeitig zwei Ursachen* sind, die die Produktion von organischer Substanz verhindern. Natürlich ist auch eine völlig grüne und normal gebildete Pflanze, später in's Dunkle gebracht, unfähig, von diesem Zeitpunkte an ihre organische Substanz weiter zu vermehren, trotz Vorhandenseins des anfangs noch ganz tauglichen Apparats, und ebenso eine etiolirte Pflanze, an's Licht gebracht, so lange noch untauglich, den Process der Produktion in sich zu vollziehen, bis sie ergrünt ist, bis die Chlorophyllkörner in normaler Weise ausgebildet sind.

Wir können aus dem Resultate der angestellten Betrachtungen nun mit Sicherheit schliessen, dass die Dauer des Lebens einer etiolirten Pflanze in enge Grenzen eingeschlossen ist. Dieselbe kann ebensowenig grössere Zeiträume hindurch existiren, als das hungernde Thier, mit der sie so treffend verglichen werden kann, und es wird bei der steten Abnahme, die sie erleidet, selbstredend von der Menge der ihr zur Verfügung stehenden organischen Substanz, also z. B. von der Grösse des ausgelegten Samens, abhängig sein, wie lange sie in einem solchen Zustande ausharren kann, genau so wie ein gut gemästetes Thier das Hungern länger verträgt, als ein solches

von schlechtem Ernährungsstande. Bei Thier und Pflanze kann aber in einem solchen Falle selbstverständlich nicht die vorhandene organische Substanz bis zum letzten Atom aufgezehrt werden, sondern nur bis zu einer Erschöpfung der Organe auf ein gewisses Minimum, unter dem diese aufhören, leistungsfähig zu sein. Das verhungernde Thier und die im etiolirten Zustand gestorbene Pflanze enthalten immer noch Mengen von organischer Substanz, die ein erhebliches Bruchtheil der ursprünglich vorhandenen ausmachen.

Auch die etiolirten Pflanzen, die hier vor uns stehen, sind dem Hungertode schon nahe und würden es im Dunkeln nur noch sehr kurze Zeit treiben; ihre Erschöpfung ist so gross, dass dieselben jetzt, selbst in's volle Licht gebracht, kaum noch die Fähigkeit haben würden, einzelne Blätter ergrünen zu lassen, und dann mittelst solcher unvollkommner Apparate kaum im Stande sein würden, sich soviel organische Substanz täglich zu erzeugen, als sie in derselben Zeit zur Unterhaltung ihrer Lebensfunktionen verbrauchen.

Wir haben in der letzten Vorlesung schon einmal andeutungsweise von einem Zustande gesprochen, der mit dem etiolirten eine gewisse Aehnlichkeit hat und darum leicht mit demselben verwechselt werden kann. Ich meine den Zustand der Chlorose, (der eintritt, wenn die Pflanze zur Ausbildung ihrer chlorophyllhaltigen Organe keine genügenden Mengen von Eisen vorfindet) für welchen auch der Mangel der grünen Farbe, die unvollständige Ausbildung der chlorophyllhaltigen Organe charakteristisch ist. Aber die Chlorose wird durch unvollständige Ernährung des betreffenden Organs, durch den Ausschluss gewisser Stoffe bewirkt, während der etiolirte Zustand eine ganz andere Ursache, das Fehlen des Lichts, hat. Deshalb unterscheiden sich die chlorotischen Pflanzen von den normalen äusserlich eben wesentlich nur durch Fehlen der grünen Farbe bei sonst ganz regelmässiger Ausbildung, während die etiolirten Pflanzen auch eine Reihe von andern Charakteren, bewirkt durch den Mangel an Licht (dem, wie wir gesehen haben, auch Formbildung zukommt), zeigen, die sie sehr wesentlich von normal gebildeten Pflanzen unterscheiden. Es sind desshalb beide Zustände wohl auseinander zu halten; nicht blos die Ursachen beider Erscheinungen sind grundverschieden, sondern auch die äussern Symptome dieser beiden Zustände bieten handgreifliche Differenzen dar.

Mit der Betrachtung der etiolirten Pflanze schliessen wir nun das Kapitel von der Einwirkung des Lichts auf die Ernährung der Pflanze. So vielfach noch Diejenigen, pflanzenphysiologischen Wirkungen des Lichts sein mögen, so wichtig für alle die, welche Botanik und Pflanzenphysiologie als Selbstzweck treiben, das Studium der Wirkungen des Lichts auf Formbildung, Gewebestreckung u. s. w. sein mag, so ist doch mit der Betrachtung der Beziehungen, in welchen das Licht zu der Produktion von organischer Substanz und zur Herstellung des Apparats, in dem sich diese Produktion vollzieht, steht, die ganze Bedeutung, die diese Kraftform und deren Wirkungen unmittelbar für den Ernährungsprocess der Pflanzen hat, erschöpft, und wir wollen es vermeiden — so gründlich Alles zur Sache Gehörige Behandlung finden soll —, uns mit den hier nicht unter einheitliche Gesichtspunkte zu bringenden physiologischen Details blos um der Gelehrtthuerei willen zu ermüden.*)

*) Nur in der zweiundzwanzigsten Vorlesung soll andeutungsweise von weiteren Wirkungen des Lichts auf die Pflanze die Rede sein.

Die bis jetzt auf dem von uns zurückgelegten Wege erlangten Resultate befähigen uns aber zu einigen Betrachtungen etwas allgemeinerer Natur, bei denen einige Augenblicke nach gehabter Mühe zu rasten, uns nicht versagt bleiben mag, ehe wir den Anlauf nehmen, um uns durch die Thatsachen eines neuen Kapitels hindurchzuarbeiten. Diese allgemeineren Betrachtungen betreffen die Rolle, welche die chlorophyllhaltige Zelle und die Vorgänge, die in derselben vollzogen werden, in dem „Haushalte der Natur" spielen.

Wir haben schon in den ersten beiden Vorlesungen gelernt und seitdem unzählige Male wiederholt, dass bei der Arbeit, die sich unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzieht, Kohlensäure verbraucht und Sauerstoff entbunden wird. Man kann sich im Allgemeinen, ohne auf die berührten Abweichungen hier nochmals zurückzukommen, so ausdrücken, dass hiebei der Kohlenstoff der Kohlensäure fixirt wird, sich mit Wasser verbindet und also dabei der Sauerstoff der Kohlensäure geradeauf frei gemacht wird. Es kann zugleich hinzugesetzt werden, dass dies der *vorwiegende* Process in der grünen Pflanzenwelt ist; denn, obgleich alle nicht chlorophyllhaltigen Theile derselben, also Wurzeln, Blüthen u. s. w.; ferner diese Pflanzen in den Entwickelungsstadien, wo sie noch keine chlorophyllhaltige Organe besitzen (als Keimlinge und im Winter der kälteren Zonen), und ebenso die ganze dunkle Nacht hindurch unfähig sind, diesen Reduktionsprocess zu vollziehen, im Gegentheil unter diesen Umständen der Oxydationsprocess, der die organische Substanz wieder zerstört, mehr oder minder in den Vordergrund tritt, so bleibt als Endresultat des Lebens aller grünen Pflanzen doch stets eine grössere oder kleinere Menge organischer Substanz übrig, auf Kosten derer alle die vielen chlorophyllfreien Geschöpfe (Pilze, Thiere etc.) ihr Dasein fristen, auf Kosten derer endlich eine sehr grosse Anzahl von Verwesungsprocessen, Verbrennungserscheinungen ausserhalb von Organismen vor sich gehen. Erwägt man dies, so kann mit Sicherheit geschlossen werden (ohne dass man die durchschnittliche Intensität jener beiden in entgegengesetzter Richtung arbeitenden Processe irgend einer Messung unterzieht), dass der von uns in diesen ersten Vorlesungen beleuchtete Vorgang der weitaus vorwiegende für die grüne Pflanzenwelt sein muss, dem gegenüber wir jenen andern noch nicht näher betrachteten einstweilen vernachlässigen können, wie er denn in der That selbst von der Wissenschaft lange Jahre hindurch übersehen worden ist.

Diesem Process der Kohlensäurezerlegung, wobei der Kohlenstoff fixirt, der Sauerstoff in Gasform ausgeschieden wird, hält nun offenbar in der Natur jener umgekehrte Process, der sich in der organischen Welt mit höchster Intensität in der Athmung der Thiere, aber auch, wie gesagt, bei jedem andern Organismus vollzieht, einiger Massen das Gleichgewicht. Die Thiere und die chlorophylllosen Organismen (die sich in den Hauptzügen ihrer Ernährung an die Thiere anschliessen) setzen den in der organischen Substanz fixirten Kohlenstoff wieder in Freiheit, indem sie ihn wieder mit dem Sauerstoff der Atmosphäre verbinden und Kohlensäure bilden; und so arbeiten sich beide Reiche (wenn man die Organismen mehr nach ihrer Ernährung als nach ihrer Formverschiedenheit eintheilt) gewissermassen einander in die Hände. Das ausgeschiedene Gas der grünen Pflanzen ist die reinste Lebensluft für die Thiere und die verdorbene Luft, die diese ausgeben, ist der zur Bildung von orga-

nischer Substanz für die Pflanzen unentbehrliche Nährstoff. Kurz, bei Betrachtung dieses Verhaltens gestaltet sich vor unsern Augen das Bild von der gegenseitigen Abhängigkeit von Thier- und Pflanzenwelt und von dem Kreislauf des Kohlenstoffs, jener vielbehandelte Gegenstand populärer Darstellungen.

Dieses Bild ist nun zwar als eine der hervorragenden Errungenschaften der vereinigten Naturwissenschaften grossartig und schön; allein es haben sich häufig bei Zeichnung desselben Ungenauigkeiten eingeschlichen, über die ich einige Bemerkungen nicht unterdrücken kann. Man wollte nemlich — wohl von dem, unsere naturwissenschaftlichen Methoden noch so häufig störenden, teleologischen Gesichtspunkte ausgehend — auf jenen entgegengesetzten Gasaustausch, den beide Reiche im Grossen und Ganzen unterhalten, den Satz gründen, dass je ein Reich als wirksamer Regulator für die Ausdehnung des andern (durch Anhäufung seiner Existenzbedingungen) wirke, und somit beide in ihrer gemeinschaftlichen Thätigkeit zur Erhaltung der bestehenden Zusammensetzung der Atmosphäre dienen müssten.*) Man dachte sich z. B., dass, wenn durch irgend eine Ursache das Thierreich überhand nehmen sollte, dann weit mehr organische Substanz „verathmet“, in der thierischen Lunge verbrannt werden, weit mehr Kohlensäure, eine Hauptbedingung des entgegengesetzten Processes in der chlorophyllhaltigen Zelle, entstehen müsse und dass auf die Weise einer weiteren und üppigeren Entfaltung des Pflanzenwachsthums Vorschub geleistet werde. Man dachte sich, dass umgekehrt, bei zu grosser Ueberhandnahme der grünen Pflanzenwelt, der Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure erschöpft, so das weitere Gedeihen dieser Organismen in Frage gestellt, dagegen durch Erzeugung von sehr viel organischer Substanz die Zunahme des Thierreichs begünstigt werde u. s. w.

Durch diese Anschauungsweise, die jedenfalls viel Richtiges enthält, sollte dann gezeigt werden, dass der Gehalt der Atmosphäre an Sauerstoff und Kohlensäure, den jedes Reich für sich genommen durch seine Lebensweise abzuändern bestrebt ist, keiner wesentlichen Aenderung**) fähig sei, sondern auf diese Weise vollständig regulirt werde.

Dieser Schluss kann indessen nicht als völlig zulässig angesehen werden; denn obgleich die Thierwelt (oder strenger die chlorophylllose Organismenwelt) in engen Grenzen abhängig ist von der Menge der grünen Pflanzen, indem sie nur von diesen ihre Nahrung, die organische Substanz empfangen und auf keinem andern Wege erlangen können, und man also im Allgemeinen zugeben kann, dass eine Vermehrung der Pflanzenwelt, durch welche der Kohlensäure-Gehalt der Atmosphäre bedroht wird, auch eine Vermehrung der Thierwelt veranlasst wird, so ist doch die umgekehrte Abhängigkeit in irgend zureichendem Grade kaum anzunehmen, da

*) Dass Berechnungen, wonach beide Processe in dieser Hinsicht einander genau das Gleichgewicht halten sollen, wie sie z. B. in Heiden's Düngerlehre I. p. 56 u. p. 140 angestellt wird, auf einer leeren Spiegelfechterei beruhen, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Wer will die durch Verwesungsprocesse erzeugte Kohlensäure auch nur auf grobe Bruchtheile annähernd schätzen? und doch gibt die so erhaltene Zahl fast allein den Ausschlag!

**) Vergl. z. B. Liebig: Die Chemie i. i. Anw. auf Agrik. und Phys. 1862 I. p. 22.

durch Ueberhandnehmen der Thierwelt und der Verbrennungs- und Verwesungsprocesse nur eine der Vegetationsbedingungen der Pflanzen die Kohlensäure vermehrt wird, und die Produktion von organischer Substanz eben nicht proportional der vorhandenen Kohlensäure, sondern ebenso abhängig ist vom Sonnenlichte, das zur Verfügung steht, und allen andern, von uns noch nicht behandelten Vegetationsbedingungen, und so in gewisse Grenzen eingeschlossen ist.

Allein selbst dies bei Seite gelassen, bleibt noch zu bedenken, dass die Zunahme der Verbrennungsprocesse (in jenem allgemeinsten Sinne des Worts) wegen der Möglichkeit der Ablagerung producirter organischer Substanz als fossile Brennmaterialien gar nicht enge abhängig ist von der Ausdehnung der Pflanzenwelt und der von dieser in einer gewissen Zeit producirten organischen Substanz.

Es ist also trotz einer weitgehenden Abhängigkeit beider Reiche von einander in den angedeuteten Verhältnissen doch nicht ein so vollkommenes Regulativ zu erblicken, dass nicht Aenderungen in dem relativen Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt der Atmosphäre eintreten könnten; und dass solche Aenderungen nicht sofort oder nach ein Paar Jahrzehnten durch die Analyse nachgewiesen werden können, hat sich längst durch Berechnung herausgestellt. Es mag nun allerdings wahrscheinlich sein, dass wir uns zur Zeit in einer Art von Gleichgewichtszustand befinden, dass Kohlensäureverbrauch und Kohlensäureproduktion mit nahezu gleicher Intensität von Statten gehn; aber denken wir uns plötzlich durch Verbrennung sämmtlicher fossiler Brennmaterialien den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre etwas vergrössert, so lässt sich durchaus nicht behaupten, dass dadurch die Pflanzenwelt ein soviel rapideres Wachsthum zeigen werde, dass dadurch dieses Plus an Kohlensäure wieder rasch verbraucht sein werde, und ebenso kann die Pflanzenwelt durch irgend welche zufällige Ursache veranlasst werden, anstatt organische Substanz zum Vortheil der Thierwelt zu schaffen, wieder einmal solche im grössern Massstab als fossile Brennstoffe abzulagern, wodurch dann die Atmosphäre dauernd kohlensäureärmer werden müsste. Kurz diese Möglichkeit der Ablagerung organischer Stoffe in der Erde, wodurch ein Theil des Kohlenstoffs sich lange Perioden hindurch vom geschilderten Kreislauf ausschliesst, und die als Thatsache nicht geläugnet werden kann, lässt es annehmbar erscheinen, dass ein gewisser Gleichgewichtszustand zwischen Kohlensäure-Produktion und Verbrauch bei sehr verschiedenem Kohlensäure-Gehalt der Atmosphäre eintreten kann.

Ich habe diese scheinbar etwas weit von unserem eigentlichen Thema abliegende Betrachtung desshalb hier nicht unterdrücken wollen, weil ich zeigen möchte, wie gefährlich es ist, alle naturwissenschaftlichen Thatsachen vom Standpunkt der Nützlichkeit ausgehend zu betrachten. Wir haben die Daten unserer Erkenntniss nüchtern zu registriren, daraus alle möglichen zulässigen Consequenzen zu ziehen, gleichviel wohin sie uns führen; aber wir müssen das Vorurtheil, dass Alles in der Welt vortrefflich eingerichtet sei, als *Forschungsprincip* gänzlich unbeachtet lassen, denn sonst gerathen wir schliesslich auf den naiven Standpunkt des Schulmeisters, der seinen Kindern lehrte, die Weisheit des Schöpfers zu bewundern, der den thierischen Körper so zweckmässig eingerichtet habe, dass genau an der Stelle Löcher im Felle sich befänden, wo darunter die Augen angebracht seien.

Wir sind durch unsere erlangte Kenntniss von der Funktion der chlorophyllhaltigen Zelle noch zu Betrachtungen von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus be-

fähigt. Ich erinnere daran, dass bei dem Vorgang, der sich in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzieht, ein Uebergang von Kraft in eine andere Form stattfindet. Wir haben Dies früher so ausgedrückt, dass wir sagten, es gehe bei diesem Vorgang die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen über in chemische Spannkraft und so sammle sich durch die Erzeugung von organischer Substanz ein Kraftvorrath an, der später je nach dem Apparat, in dem man die Verbrennung dieser organischen Substanz vor sich gehen lasse, als Wärme oder als mechanische Bewegung ausgegeben werden könne. Aus diesem Verhalten ergibt sich nun vielleicht die wichtigste Rolle, welche die chlorophyllhaltige Zelle im Haushalt der Natur oder besser für *den zu wirthschaftlichen Zwecken zur Verfügung stehenden Kraftvorrath* spielt. Wir haben auf das zu schildernde Verhältniss schon in der zweiten Vorlesung kurz hingedeutet, können es uns aber nicht versagen, jetzt, wo wir eine genauere Vorstellung gewonnen haben von dem fraglichen Uebergang, noch einmal etwas ausführlicher auf denselben Gegenstand zurückzukommen.

Es muss vor Allem darauf aufmerksam gemacht werden, in welch' hohem Grade wir in unserm wirthschaftlichen Leben von den mechanischen Arbeitskräften abhängig sind, über die wir verfügen können. Wir brauchen uns nur zu überlegen, dass die Maschinenarbeit in manchen Ländern das Vielfache leistet von Dem, was durch die Arbeit der dieselben bewohnenden Menschen geleistet wird. Anerkannter Massen haben wir weitaus den grössten Theil des wirthschaftlichen Aufschwungs unseres Jahrhunderts dem Umstand zu danken, dass das letzte Jahrhundert uns gelehrt hat, Menschenarbeit, die früher nur in sehr viel unvollkommnerem Grade durch die Arbeit der Thiere substituirt werden konnte, durch Arbeit von Dampfmaschinen zu ersetzen. Alle diese mechanische Arbeiten, die eine so bedeutende Rolle bei der Produktion unserer wirthschaftlichen Güter spielen, erfordern einen *Kraftvorrath* in einem gewissen Zustand, in einem solchen, wo er in mechanische Bewegung übergehen kann, und wir haben schon in einer frühern Vorlesung gesehen, dass nicht eine jede Kraftform diesen Uebergang zu machen im Stande ist. Die Wärme war, wie wir uns erinnern, nur unter gewissen Bedingungen zu einem solchen Uebergang, der von so hoher wirthschaftlicher Bedeutung ist, befähigt; und diese Bedingung war, dass sie als Temperaturüberschuss über einen benachbarten Körper vorhanden sei. Es ist folglich von einem gewissen wirthschaftlichen Interesse, die einzelnen Formen von Kraft, die sich uns auf der Oberfläche des von uns bewohnten Planeten darbieten, auf die Möglichkeit zu untersuchen, sie in mechanische Bewegung umzuwandeln.

Die Wärme unserer Erde muss, als in einem ungeeigneten Zustande den fraglichen Zwecken gegenüber befindlich, ganz ausser Acht gelassen werden. Alle übrige Kraft, die wir besitzen, stammt von der Sonne *) und ist aus dem grossen Temperaturunterschied, der zwischen Sonne und Erde besteht, abzuleiten. Diese Kraft, die in Form von Sonnenstrahlen zu uns gelangt, kann dreierlei bewirken, entweder Erwärmung, und ist dann in ungeeigneter Form zum Uebergang in mechanische

*) Auch hier muss ich an die übrigens unwesentlichen Kräfte erinnern, die wie z. B. die lebendige Kraft der Bewegung von Ebbe und Fluth, von der Umdrehungsbewegung von Mond und Erde abzuleiten sind, und einige andere geringfügige früher erwähnte Kräfte, deren Wirksamkeit der vollen Richtigkeit des ausgesprochenen Satzes entgegen steht.

Bewegung vorhanden, oder äussere Arbeit, oder drittens innere Arbeit (chemische Arbeit) und kann in diesen beiden letzten Fällen zu mechanischer Bewegung, zu wirthschaftlichen Zwecken benutzt werden. Aber diese beiden Fälle sind von sehr verschiedener Bedeutung.

Von äusseren Arbeiten leisten die Sonnenstrahlen nur, was als Bewegung von Luft und Wasser sich darstellt oder auf diese sich zurückführen lässt, und wir wissen, dass die wirthschaftliche Ausbeutung dieser Strahlen aus einer Reihe von Gründen, die hier nicht erörtert werden können, sehr gering ist und bleiben muss.

Eine um so grössere Rolle spielen die Kraftmengen, die zunächst chemische Arbeit vollziehen, in unserm wirthschaftlichen Leben, namentlich seit der Zeit, wo wir gelernt haben, diese Kräfte auch ausserhalb von Thier und Mensch zur mechanischen Arbeitsleistung zu benutzen, und es erhellt sogleich die immense Bedeutung, die die chlorophyllhaltige Zelle für den Kreislauf der Kräfte und unser wirthschaftliches Leben hat, wenn wir bedenken, dass *alle chemische Arbeit,* die nachher solchen mechanischen Bewegungserscheinungen zu Gute kommt, lediglich in jenem kleinen Apparat geleistet, dass lediglich in Form von organischer Substanz. die daselbst ihre Entstehung nimmt, jene ungeheuren Mengen von Kraft, die wir als Menschen- und Thier-Arbeit oder als Arbeit der Dampfmaschinen und calorischen Maschinen auftreten sehen, gesammelt werden.

Während also nur Wind- und Wasser-Mühlen jene Kraft zu wirthschaftlichen Zwecken ausnutzen, die in Form einer äussern Arbeit ursprünglich deponirt worden ist, lassen sich alle die vielen andern Bewegungserscheinungen, die durch Verbrennungsprocesse innerhalb und ausserhalb von Organismen eingeleitet werden, auf die chemische Arbeit, welche die Sonnenstrahlen in der chlorophyllhaltigen Zelle geleistet haben, sei es nun in der Gegenwart oder in einer längst entschwundenen geologischen Epoche, in der die fossilen Brennmaterialien gebildet worden sind, zurückführen. Diese fossilen Brennstoffe sind eine Hinterlassenschaft von Kräften aus alten Zeiten, wo noch keine Nachfrage nach ihnen bestand, gleichsam aufgespeichertes Kraftkapital in einer Form, in der ihrer Verwendung zur Hervorrufung von äusseren Bewegungserscheinungen kein Hinderniss im Weg liegt.

Zum Schlusse dieser Vorlesung möchte ich schon jetzt vor einem Irrthum warnen, der sich nach dem bisher Mitgetheilten leicht einstellen könnte und der in der That in Folge einseitiger Betrachtungen noch weit verbreitet ist. Es ist dies der Glaube, dass alle grünen Pflanzen, die durch den Chlorophyllapparat zur Produktion von organischer Substanz befähigt sind, nun unter keinen Umständen schon vorgebildete organische Substanz von Aussen in sich aufnähmen und zu eignem Nutz und Frommen in sich verarbeiteten. Dieser Glaube, der in dem natürlichen Drang des Menschengeistes, die Erscheinungen der Aussenwelt zu systematisiren und unter möglichst einfache Gesichtspunkte zu bringen, seine Erklärung findet, ist in gewissen Kreisen so sehr zum Dogma geworden, dass es mir nützlich erscheint, auf die Unrichtigkeit desselben hinzudeuten. Man sagte sich, was die Pflanzen sich selbst bereiten können, brauchen sie nicht von Aussen zu beziehen, und hat auch wieder in diesem Fall der Natur gleichsam *zweckmässige* Absichten untergeschoben, — ein

Princip, das wir schon früher als unfruchtbar und gefährlich für die Naturforschung bezeichnet haben.

Bedenken wir — und diese Anschauung können wir jener andern gegenüber stellen —, dass es doch manchmal für viele Pflanzen nützlich sein kann, wenn das Geschäft der eignen Produktion (aus Mangel an Licht wegen noch ungenügender Ausbildung des Chlorophyllorgans etc.) noch etwas stille liegt, von der Einfuhr von Aussen nicht völlig abgeschnitten zu sein und von dort her organische Substanz zu beziehen, so werden wir uns auch zu dem entgegengesetzten Vorurtheil bequemen und uns für den Glauben prädisponiren können, dass eine solche Aufnahme der fertigen organischen Substanz denn doch möglich sei.

Allein prüfen wir in diesem Falle, wo uns alle theoretische Herleitung wieder einmal im Stiche lässt, die Thatsachen, in denen eine Beantwortung für die vorliegende Frage zu suchen ist.

Ich möchte zunächst auf eine bei Manchen ganz in Vergessenheit gerathene Thatsache aufmerksam machen, dass es den höhern chlorophyllhaltigen Pflanzen ganz nahe verwandte Pflanzen gibt, die jenen in ihrer Form, ihrem Entwickelungsgang und ihrer Blüthenbildung aufs Haar gleichen, dennoch aber *chlorophylllos* sind. Der morphologische Charakter der Organismen ist oftmals dem Charakter gewisser physiologischen Grunderscheinungen geradezu entgegenlaufend, so dass das Eintheilungsprincip des klassificirenden Botanikers und Zoologen, das wesentlich sich auf die morphologischen Gleichartigkeiten stützt, häufig mit dem des Physiologen in die Haare geräth. Um ein Beispiel zu geben, will ich darauf hinweisen, dass der Physiologe, der auf das morphologische Eintheilungsprincip ganz und gar keine Rücksicht nähme, leicht dahin gelangen könnte, die Thiere in Fleisch- und in Pflanzenfressende abzutheilen (obwohl dies im Grund genommen kein sehr gewichtiger Ernährungsunterschied ist), wodurch offenbar die alte morphologische Ordnung ganz auf den Kopf gestellt würde.

So enthält auch unser morphologisch so wohl begründetes botanisches System Abtheilungen, in denen physiologisch sehr ungleichwerthige Pflanzen dicht neben einander stehen, — eine Thatsache, die der Agrikulturchemiker*) sehr leicht vergisst. Das eben Gesagte gilt gerade für jenen durchgreifenden Ernährungsunterschied, den Mangel oder das Vorhandensein der Fähigkeit, organische Substanz zu produciren, und wir finden, wie gesagt, bei den allerhöchstorganisirten Pflanzen Familien, deren Gattungen oder Arten theilweise chlorophyllhaltig sind, theilweise des Chlorophylls und damit der Befähigung zur Produktion von organischer Substanz entbehren. So gibt es den chlorophyllhaltigen Rhinanthaceen sehr nahe verwandte Pflanzen wie Lathraea, die chlorophylllos sind. Auch die manchen unserer Kulturgewächse so schädlichen Schmarotzer, die Orobanche-Arten sind, obgleich der eben genannten Familie sehr nahe stehend, chlorophylllos. Ebenso die berüchtigte

*) Man hört gerade von den Agrikulturchemikern sehr häufig, in Ausserachtlassung der Nichtcoïncidenz der morphologischen und physiologischen Eintheilung der Organismen, auch an Orten, wo eine schärfere Bezeichnung durchaus Noth thäte, von der Pflanzenwelt — als der Kohlensäure-aufnehmenden und Sauerstoff-ausgebenden sprechen. Es gibt diese unpräcise Ausdrucksweise vorzugsweise bei den Lernenden Anlass zu Irrthümern, die wieder auszurotten, viele Mühe kostet.

Kleeseide, Cuscuta, den Convolvulaceen verwandt. Die Familie der Orchideen enthält neben der gemeinhin chlorophyllhaltigen Gattung Orchis, nach der sie ihren Namen empfangen, Gattungen wie Corallorhiza und Neottia, die frei von Chlorophyll sind. Dahin gehört ferner der Fichtenspargel, Monotropa, den Ericaceen verwandt etc.

Alle diese chlorophyllfreien Gattungen der höhern Pflanzenfamilien sind selbstredend darauf angewiesen, genau wie Thiere und Pilze von schon gebildeter organischer Substanz ihr Leben zu fristen. *) Zum Theil sind sie wirkliche Schmarotzer, d. h. sie bewohnen noch lebende Pflanzen, diesen ihre Nahrung entziehend, wie Orobanche, Cuscuta; zum Theil leben sie auf Kosten von nicht mehr Organismen angehörigen organischen Substanzen, die in Zersetzung begriffen sind, und werden dann wohl Humusbewohner genannt, wie Monotropa, Neottia nidus avis etc. Die eine oder die andere Art der Stoffaufnahme ist für uns kein wesentlicher Unterschied, und alle jene Pflanzen (können wie im Grunde die chlorophylllosen Organismen sammt und sonders) *als Schmarotzer im weitesten Sinne des Worts* aufgefasst werden.

Aber noch mehr. Nicht nur den höhern chlorophyllhaltigen Gewächsen so nahe verwandte Arten haben nothwendig die Befähigung, organische Substanzen ganz regelmässig zu assimiliren, sondern eine Reihe jener Pflanzen zeigen im ersten Jahre ihrer Entwickelung keinen Chlorophyllgehalt, wohl aber im zweiten und den folgenden Jahren, sind daher in dem ersten Jahre (da ihnen nicht etwa ein entsprechender Reservestoffbehälter zu Gebote steht) auf die Assimilation organischer Nahrung angewiesen, obwohl sie im zweiten Jahre diese selbst zu bilden im Stande sind. Als hierhergehörige Pflanzen werden einige Orchis-Arten genannt.

Mit Erwägung dieser Thatsache verschwindet mehr und mehr das Vorurtheil, als ob chlorophyllhaltige Pflanzen durchweg ganz anders organisirt seien, namentlich eine andere Wurzelbildung hätten (worauf es hier ganz wesentlich ankommt), als die chlorophylllosen.

Wir haben aber noch Weiteres in Erwägung zu ziehen. Manche chlorophyllhaltige Pflanzen, wie die Mistel (Viscum album), einige Rhinanthaceen sind trotz der ihnen zukommenden Fähigkeit, organische Substanz zu produciren, auf das Schmarotzen angewiesen, sie gedeihen nur, wenn sie Gelegenheit finden, ihre Haustorien in eine Nährpflanze einzusenken und offenbar nur deshalb, weil es für sie vortheilhaft ist, neben der selbst gebildeten organischen Substanz auch solche aus ihrem Wirthe in sich aufzunehmen, wenn man auch für die Mistel plausibel zu machen gesucht hat, dass sie durch die Haustorien nur anorganische Substanzen in sich aufnähme. **)

Kurz es scheint nach dem Angeführten nicht mehr bezweifelt werden zu können, dass Etwas Gemeingültiges über die Aufnahme oder Nichtaufnahme organischer

---

*) Vergl. über diesen Gegenstand: Ann. d. sc. nat. T. 6. p. 29; — T. 7. p. 127; — T. 8. p. 5 u. 158.

**) Vergl. über die ganze Argumentation H. v. Mohl: Veget. Zelle. p. 237 u. f., der schon in früher Zeit, wo die Verwirrung in den Köpfen der Agrikulturchemiker über diesen Gegenstand noch ziemlich gross war, in weiser Mässigung die Sachlage richtig darstellte.

Stoffe durch die chlorophyllhaltigen Pflanzen nicht ausgesagt werden kann. Viele derselben, das kann gezeigt werden, können in normaler Weise vollständig gedeihen bei rein anorganischer Nahrung, andere von ihnen haben zu ihrem Gedeihen nachgewiesener Massen einen an organischen Substanzen reichen Boden nothwendig. Eine principielle Scheidung aber kann hier nicht vorgenommen werden.

Soviel hier über diesen Gegenstand; und nur das Eine sei noch hinzugefügt, dass *unsere Kulturpflanzen*, mit denen wir es in erster Linie zu thun haben, soweit wir wissen, auf völlig unorganischem Boden gedeihen können und, wenn sie überhaupt in ausgedehnterem Masse organische Substanzen aufnehmen *), uns nicht bekannt ist, ob sie Nutzen aus dieser Aufnahme ziehen können.

Auch die in der heutigen Vorlesung erlangten Resultate wollen wir schliesslich in einigen wenigen Sätzen zusammenfassen.

1) Zur Bildung des Chlorophyllapparats aus der noch unentwickelten chlorophyllhaltigen Zelle ist erforderlich ein gewisser nicht ganz niedrig liegender Temperaturgrad, ferner, in beinahe allen Fällen eine gewisse ziemlich geringe Lichtintensität.
2) Die bei Ausschluss von Licht erzogene (sonst) chlorophyllhaltige Pflanze ist ein vollkommenes Analogon des hungernden Thieres.
3) Der entgegengesetzte Gasaustausch von chlorophyll-haltigen und -freien Organismen bürgt nicht für eine Constanz der Zusammensetzung der Atmosphäre.
4) Die uns zu wirthschaftlichen Zwecken zu Gebote stehende mechanische Arbeitskraft steht in inniger Beziehung zur Thätigkeit in der chlorophyllhaltigen Zelle und zu der Menge von Strahlen, die die Sonne zur Erde sendet.
5) Die chlorophyllgrünen Pflanzen sind nicht schlechthin unfähig, organische Substanz von Aussen aufzunehmen und zu verwerthen.

Sechste Vorlesung.

Wanderung der organischen Substanz. — Umwandlung derselben.

Wenn in der grünen Pflanze neben der Fähigkeit, organische Substanz aus den weit verbreiteten anorganischen Stoffen, Wasser und Kohlensäure mit Hülfe der Sonnenstrahlen zu schaffen, nicht auch die andere Fähigkeit vorhanden wäre, die so producirte organische Substanz aus einer Zelle in eine andere mehr oder weniger entfernte Zelle, die aus Mangel an Chlorophyll die Fähigkeit nicht hat, sich die, auch ihr unentbehrliche organische Substanz selbst zu produciren, überzuführen, so wären die Pflanzen gar übel organisirt und würden trotz jener ersten Fähigkeit

*) Die Aufnahme und Assimilation stickstoffhaltiger organischer Stoffe ist übrigens, wie wir bald sehen werden, für einige Kulturpflanzen erwiesen.

doch nicht jene bedeutende Rolle in der organischen Welt übernehmen können, die sie thatsächlich in derselben spielen.

Wir haben in den vorausgegangenen Vorlesungen das Stärkemehl als denjenigen organischen Stoff kennen gelernt, den wir in weitaus den meisten Fällen als direktes Assimilationsprodukt des Chlorophyllorgans zu betrachten berechtigt sind. Innerhalb der „Chlorophyllkörner" bilden sich in beinahe allen Pflanzen unter denjenigen Bedingungen. die überhaupt zur Produktion von organischer Substanz erforderlich sind, Einschlüsse, die man als aus Stärkemehl bestehend erkannt hat. Dass diese Stärkemehleinschlüsse bei Nichterfüllung jener Bedingungen, also z. B. in mässiger Dunkelheit nicht entstehen, ist mit genügender Sicherheit nachgewiesen worden. Wir haben in einer früheren Vorlesung diese Bildung von Stärkemehleinschlüssen im Licht als einen weitern Beweis für die Abhängigkeit der Produktion von organischer Substanz vom Lichte angesehen, um so mehr als auch die Anwesenheit der minder brechbaren leuchtenden Strahlen für die Bildung jener Einschlüsse in neuester Zeit als entscheidend gefunden wurde. *)

Aus der einfachen Thatsache, dass Stärkemehlkörner sich auch in andern Pflanzentheilen vorfinden, als in solchen, wo die Bedingungen zu ihrem Entstehen aus anorganischer Substanz sich vereinigt finden, konnte ein Jeder den Schluss **) machen, dass eine Wanderung von Zelle zu Zelle, von Pflanzentheil zu Pflanzentheil für das Stärkemehl möglich sein müsse, gleichgültig vor der Hand, ob hiebei zugleich eine Stoffumwandlung stattfinde. Sachs war wohl der erste, der, von dieser Betrachtung geleitet, es unternahm, das Stärkemehl auf seiner Wanderung beobachtend zu verfolgen. ***) Er zeigte zunächst, wie das Stärkemehl innerhalb der Chlorophyllkörner am Lichte erwachsener Pflanzen, nach dem Verbringeu derselben in einen dunkeln Raum, völlig verschwindet und dass dieser Process durch hohe Temperatur begünstigt zu werden scheine; er wies z. B. nach, dass bei Tropaeolum majus, Nicotiana Tabacum, Geranium peltatum im Finstern binnen 48 Stunden die Stärke aus den Chlorophyllkörnern verschwunden war. Nachdem alsdann die Pflanzen nach fünftägigem Aufenthalt im Dunkeln am Fenster dem Sonnenlicht ausgesetzt wurden, bildeten sich nun innerhalb weiterer fünf Tage neue Stärkmehleinschlüsse in den Chlorophyllkörnern, wodurch also die Abhängigkeit des Verschwindens und der Neubildung des Stärkemehls von Dunkelheit und Licht hinreichend festgestellt war.

Dies Verschwinden der Stärkeeinschlüsse, das beobachtet wird, sobald die Bedingungen zur steten Neubildung fehlen, liesse sich an und für sich auch durch wirklichen Verbrauch in Folge einer langsamen Verbrennung, die, wie wir später sehen werden, die lebende Pflanze stets unterhält, erklären, und ein nahezu schätz-

---

*) Famintzin: Pringsh. Jahrb. B. VI. p. 31.

**) „Die beständige translatorische Bewegung der Stoffe in der Pflanze leugnen, heisst Nichts Anderes thun, als behaupten, dass jeder Stoff da, wo wir ihn finden, aus Nichts entstanden sei. Es ist daher unnöthig, weitläufige Beweise für die Thatsächlichkeit der Stoffbewegungen in den einzelnen Zellen sowohl als in der vielzelligen Pflanze beizubringen." drückt sich Sachs, Handb. d. Experim. Phys. d. Pfl. p. 375 aus.

***) J. Sachs ebenda p. 29 u. 327. Aehnliche Anschauungen indessen schon bei H. v. Mohl, Payen u. Nägeli.

barer Theil dieser steten Abnahme muss auch auf Rechnung einer solchen Verbrennung gesetzt werden; doch lässt die von Sachs beobachtete Thatsache, zusammengehalten mit dem *Auftreten von Stärke in benachbarten, aber zur Produktion ungeeigneten Pflanzentheilen*, keine andere Deutung zu, als die, dass das Verschwinden jener Stärkeeinschlüsse in Folge einer *wahren Stoffwanderung* durch die Zellenwände hindurch vor sich gehe.

Man darf sich nun wohl nicht der Vorstellung hingeben (wie dies Sachs zu thun scheint), als ob ein solches Abnehmen und endliches Verschwinden der Chlorophyllkörner nur im Dunkeln vor sich gehe, sondern wir müssen annehmen, dass stets eine solche Auswanderung der Stärke stattfinde, die aber nur in der Dunkelheit einen sichtbaren Effekt hervorbringen kann, während sie im Licht von dem Resultat der Produktionsthätigkeit völlig in Schatten gestellt wird. Es ist offenbar nicht der geringste Grund vorhanden, eine blos nächtliche Auswanderung, also eine Verhinderung der Wanderung durch das Licht anzunehmen, und wenn hohe Temperatur diesen Vorgang begünstigt, so wird derselbe wohl gerade bei Tage mit grösserer Raschheit von Statten gehn, wenn auch trotzdem noch ein Zuwachs an Stärkeeinschlüssen beobachtet wird.

Dass eine sehr vollkommene Wanderung des Stärkemehls in der lebenden Pflanze möglich sein muss, kann auch, abgesehen von allen diesen mehr in's Einzelne gehenden Beobachtungen, aus vielen sehr bekannten Vorgängen in der Pflanze geschlossen werden. Wenn man z. B. eine beliebige Phanerogame an einem finstern Ort sich aus dem Samen oder den Knollen entwickeln lässt, so findet bei angemessenen Temperaturverhältnissen reichliche Blätterentwickelung statt. Wir können hier nicht wieder auf die eigenthümliche Gestaltung eingehen, die wir unter den bezeichneten Umständen an den neuentwickelten Organen beobachten; uns interessirt hier nur die Thatsache, dass nach einiger Zeit Stillstand in der Entwickelung eintritt, und dass, wenn man in diesem Zustand die Pflanze einer mikroskopischen Prüfung unterwirft, sich eine mehr oder minder vollständige Entleerung sowohl des ursprünglich prall gefüllten Reservestoffbehälters, als des gesammten Gewebes der neugebildeten Pflanzentheile herausstellt, eine Entleerung, die sich im Allgemeinen auf Stärkemehl oder auch auf einen stellvertretenden Stoff bezieht. Es braucht kaum besonders hervorgehoben zu werden, dass das Protoplasma des Parenchyms der Blätter, aus dem sich im normalen Zustande das Chlorophyll entwickelt, unter den bezeichneten Umständen gänzlich frei von Stärkemehleinschlüssen bleibt.

Lässt man die Pflanze, wenn sie sich in diesem Stadium befindet, noch längere Zeit im Dunkeln, so geht sie zu Grunde aus Mangel an Licht, — sie verhungert. Bringt man sie jedoch noch zu rechter Zeit an's Licht, so beginnt die vollständigere Ausbildung der in ihrer Grundlage schon vorhandenen Chlorophyllkörner, und in den Zellen, wo diese sich eingelagert finden, beginnt die Produktionsthätigkeit, — in den ergrünten Blättern leistet das Licht seine chemische Arbeit. Nun tritt nach kurzer Zeit Stärkemehl in den Chlorophyllkörnern auf, und etwas später finden wir es dann auch in den leitenden Geweben der Blattstiele u. s. w., und es lässt sich leicht verfolgen bis in die neu sich entwickelnden Organe. Diese, bis dahin eines weitern Wachsthums unfähig, beginnen sich nun zu entfalten; die Neubildung schreitet

wieder fort und erleidet keine weitere Hemmung mehr, als die durch das morphologische Gesetz.

Nichts ist wohl im Stande, uns vollkommener von der Wanderungsfähigkeit des Stärkemehls von Zelle zu Zelle zu überzeugen, als die Betrachtung eines solchen Entwickelungsgangs, wenn wir dabei die Möglichkeit einer Organbildung im Wesentlichen auf Kosten von Stärkemehl als Etwas Bekanntes voraussetzen.

Genau so belehrend in Bezug auf die Wanderungsfähigkeit des Stärkemehls ist nun auch die Betrachtung der Aufspeicherung desselben in gewissen Organen, wo es zunächst keine Verwendung zur Neubildung findet, wie z. B. den Kartoffelknollen, ein Vorgang, der durch einen noch einfachern Process zu Stande kommt.

Die Frage, die nun an uns herantritt, ist: Wie kommt eine solche Wanderung zu Stande? Durchbohrt das Stärkemehl die Zellenwandungen, wie dies Mycelienfäden zu thun scheinen, ohne Löcher in denselben zu hinterlassen? Oder ist zur Wanderung eine Lösung des Stärkemehls erforderlich, und findet in diesem Falle eine chemische Umwandlung statt?

Betrachten wir, um diese Frage zu beantworten, die Eigenthümlichkeiten, die uns das Stärkemehl auf seinem Wanderungsweg darbietet, und suchen wir uns durch dieselben Aufschluss zu verschaffen über die Art und Weise, wie diese Wanderung vor sich geht. — Die zuerst ausgesprochene Vermuthung, dass die Stärkemehlkörner in unveränderter Form durch die Zellwandungen hindurchgehen, müssen wir sofort verwerfen, denn schon rein theoretische Gesichtspunkte in Bezug auf den Ursprung der Kraft, die zu einer solchen Leistung erforderlich wäre, *) verdammen eine solche abenteuerliche Anschauung. Vielmehr lehrt uns der direkte Augenschein, dass die Stärkemehlkörner auf der Wanderung durchschnittlich viel kleiner sind, namentlich als diejenigen, die wir in den Reservestoffbehältern aufgespeichert finden. Schon diese Thatsache allein würde uns zu der Annahme zwingen, dass das Durchsetzen der Stärketheilchen durch die Zellwände nur in gelöster Form geschehen kann.

Nun kommt aber noch eine andere beobachtete Thatsache hinzu, die die Löslichkeit der Stärke in bestimmten Zellflüssigkeiten zur absoluten Gewissheit erhebt. Man hat nemlich nachgewiesen, dass Stärkemehlkörner, die in einer Zelle in einer Weise eingelagert sind, dass sie theilweise aus der protoplasmatischen Flüssigkeit in die Vakuolenflüssigkeit hineinragen, **) wenn sie in der Resorption begriffen sind, nur an dem Theil ihres Umfangs eine Abnahme erleiden, der von Protoplasma umgeben ist, und dass andererseits auch nur an diesem Theil eine Volumzunahme zu beobachten ist, wenn das Stärkemehlkorn überhaupt eine solche erfährt. Es ist offenbar, dass ein solcher Thatbestand auch dann noch seine unzweideutigen Spuren hinterlässt, wenn es auch nicht möglich ist, das direkte Wachsthum oder die Abnahme unter dem Mikroskope zu beobachten.

---

*) Eine Schwierigkeit, die offenbar für einen Mycelienfaden, welcher der Sitz eines lebhaften Stoffwechsels ist, nicht besteht.

**) Vakuole heisst derjenige Theil der Zellflüssigkeit, der vom eigentlichen Protoplasma in scharfer Grenzfläche umschlossen wird und neben ihrer sphärischen Gestalt durch eine geringe Brechbarkeit für Licht charakterisirt wird. Dieselbe scheint zu allen wichtigern Lebensvorgängen in weniger direkter Beziehung zu stehen, als das dickflüssige, starkbrechende Protoplasma.

Die vorstehenden Thatsachen zwingen uns unfehlbar zu der Annahme, dass *die Wanderung des Stärkemehls stattfindet durch die Fähigkeit der protoplasmatischen Flüssigkeiten, dasselbe unter gewissen Umständen aufzulösen und durch die Fähigkeit der so entstandenen Lösung, in dieser Form Primordialschlauch und Zellenwand zu durchdringen.*

Das Stärkemehl ist nun in Wasser unlöslich, oder wenigstens haben diejenigen Lösungen, die von gewissen Theilen des Stärkemehlkorns unter später zu beschreibenden Umständen erzielt werden können, nicht die Fähigkeit, Zellwandung und Primordialschlauch zu durchdringen. Hierzu kommt, dass niemals eine Blaufärbung von Zellflüssigkeiten durch Jod, auch wenn wir uns dieselben mit gelöster Stärke bis zur Ausscheidung gesättigt denken mussten, beobachtet worden ist. Aus der letzteren Thatsache ist nun zu schliessen, dass die Auflösung des Stärkemehls im Protoplasma nur mit gleichzeitiger chemischer Veränderung möglich ist, dass diejenige Flüssigkeit, welche durch die Membranen hindurchgeht und die Fähigkeit hat, Stärkemehlablagerungen zu bewirken, kein Stärkemehl als solches gelöst enthält. Die Protoplasma-Flüssigkeit muss offenbar Elemente enthalten, die unter gewissen Umständen eine solche Veränderung bewirken und sie zu dem beobachteten Erfolge befähigen, und dies müssen Stoffe sein, die der Vakuolenflüssigkeit fehlen.

Die Annahme einer solchen chemischen Umänderung bei der Auflösung des Stärkemehls wird also namentlich durch die Erfahrung unterstützt, dass alle Methoden, Stärkekörner künstlich in Lösungen von diffusibeln Eigenschaften überzuführen, auf einer gleichzeitigen chemischen Aenderung der Stärkesubstanz beruhen.

Man hat sich in Bezug auf diese Umwandlung nun noch bestimmter ausgedrückt und die Vermuthung ausgesprochen, *) wenn es auch häufig nicht möglich ist, in Zellsäften, aus denen Stärke sich abscheidet, Glycose nachzuweisen, **) dass die Stärke im Protoplasma in Form von Glycose aufgelöst und wiederum aus einer solchen glycosehaltigen Lösung abgeschieden werde, wobei man unter Glycose eine Substanz von der Zusammensetzung des Traubenzuckers, und identisch mit Fruchtzucker versteht. Diese Hypothese gewinnt dadurch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass eine Reihe fermentartig wirkender Stoffe von unbekannter Zusammensetzung, wie Diastase, Hefewasser, Speichel etc. in ähnlicher Weise das Stärkemehl zu verwandeln vermögen. Da sich nun häufig auch in den lebenden Pflanzen stickstoffhaltige Stoffe von ähnlichen Eigenschaften vorfinden ***), so kann es sich möglicher Weise in beiden Fällen um analoge Processe handeln, obgleich wir niemals den umgekehrten Process, eine Stärkemehlbildung aus zuckerhaltigen Flüssigkeiten ausserhalb der Pflanze wahrgenommen haben.

---

*) Vergl. J. Sachs: Handbuch d. Experiment. Phys. d. Pfl. p. 395.

**) Diese Unmöglichkeit, Glycose (Zucker) nachzuweisen, würde kein Hinderungsgrund für die gemachte Annahme sein, wenn man die Sättigungscapicität des Protoplasma für diesen Stoff unter Umständen genügend klein annimmt. Indessen geht aus dieser Sachlage das durchaus Hypothetische der von Sachs gemachten Annahme hervor, dessen man sich bewusst bleiben muss.

***) Vergl. Buignet: Journ. de Chim. et de Pharm. B. 39. p. 819; ferner Schönbein: Zeitschrift für Biologie 1868. p. 367 u. f.

Sicher bleibt in allen Fällen bei der Wanderung die wechselweise Auflösung und Abscheidung der Stärkekörner *) mit gleichzeitiger chemischen Umwandlung, wenn wir auch die Frage nach dem Umwandlungsprodukt noch unentschieden lassen müssen und uns in der Folge mehr aus Bequemlichkeit des Namens Glycose-haltiger Flüssigkeiten bedienen.

Jedenfalls haben wir uns nun die neue Frage vorzulegen. Was veranlasst denn diese immerwährende Auflösung und Abscheidung von Stärkemehl, welche die Pflanzenphysiologen scheinbar so willkürlich auf einander folgen lassen? Was veranlasst, auch abgesehen von der chemischen Umsetzung, ein Stärkekorn sich aufzulösen, während in der Nachbarzelle, wo doch offenbar möglichst ähnliche Bedingungen herrschen, gerade das Umgekehrte stattfindet? Sind dies nicht Alles gehaltlose Construktionen auf dem Papier, die den Umständen, wie sie in der Natur walten, durchaus nicht Rechnung tragen und darum auch niemals im Stande sind, jene merkwürdigen Thatsachen zu erklären?

Es versteht sich von selbst, dass auf allen den Gebieten, die wir zur Zeit unfähig sind, experimentell zu bearbeiten, Hypothesen aushelfen müssen, und uns diese mehr eine Vorstellung davon geben, ob eine Erklärung überhaupt möglich erscheint, als dass auf diese Weise schon wirkliche Erklärungen gegeben werden könnten.

Mit gewissen ziemlich naheliegenden Annahmen gelingt nun allerdings eine Erklärung der besprochenen Thatsachen, der Stärkmehlwanderung, wenigstens in gewissen Druckrichtungen. Wir wissen zunächst, dass die Zellflüssigkeit einer beliebigen Pflanzenzelle einen gewissen Druck auf die Zellwandungen ausübt, einen Druck, der die Zellflüssigkeit unfehlbar theilweise zum Austreten durch die Zellwand **) bewegen würde, wenn diese nicht zwischen andern ebenso prall gefüllten Zellen eingelagert wäre, die durch ihren Gegendruck dieses Austreten verhindern. Der Austritt eines Theils der Flüssigkeit erfolgt thatsächlich bei Entfernung dieses Gegendrucks durch Wegnahme, Verletzung oder Druckschwächung der benachbarten Zellen, denn die nach dem Zerreissen eines saftigen Parenchyms austretende Saftmenge übersteigt regelmässig um das Vielfache den Inhalt der bei der Zerreissung verletzten Zellen und ist zum Theil ohne Widerrede auf Kosten des Austritts von Zellsaft aus unverletzten Zellen zu setzen. Bei der Saftbewegung ***) durch das parenchymatische Gewebe muss nun offenbar der Druck in der Richtung dieser Bewegung von Zelle zu Zelle abnehmen, denn dieselbe wird nur hervorgebracht durch das Bestreben der Ausgleichung jener Unterschiede.

Wenn nun die Glycose-haltige protoplasmatische Zellflüssigkeit die Fähigkeit

---

*) Die eigenthümlichen Strukturverhältnisse des Stärkemehls, von denen in einer späteren Vorlesung kurz die Rede sein soll, werfen bis jetzt kein Licht auf die ursächlichen Bedingungen ihrer Auflösung und Abscheidung im protoplasmatischen Zellsafte.

**) Durch Ueberwindung des Filtrationswiderstandes; vergleiche die achtzehnte Vorlesung, wo von dem Verhalten von Flüssigkeiten gegen Membranen ausführlich die Rede ist.

***) Die Ursachen dieser Saftbewegung durch die Pflanzen werden wir später in der zwanzigsten Vorlesung eingehend zu betrachten haben. Einstweilen mag man sich die Verdunstung des Wassers aus oberirdischen Organen als (in einer Richtung) druckverminderndes Moment denken, das die Saftbewegung veranlasst.

hat, Stärkemehl abzuscheiden, so wird es offenbar einen Sättigungsgrad jener Flüssigkeit geben, bis zu dem sie fähig ist, weiteres Stärkemehl in sich aufzunehmen, über den hinaus sie aber unfehlbar Stärke abscheidet. In jeder Stärkekörner-haltigen Zellflüssigkeit wird ein solcher Sättigungsgrad vorhanden sein oder sich bald herstellen müssen.

Allein bei der Bewegung eines solchen Zellsaftes in der Druckrichtung von Zelle zu Zelle sind ausserdem noch die osmotischen Verhältnisse in Betracht zu ziehen. Nehmen wir an, das osmotische Aequivalent *) für Glycose in Bezug auf die jene Flüssigkeiten von einander trennenden Membranen sei ein sehr geringes, so werden wir uns leicht eine Vorstellung bilden können von den Verhältnissen, wie sie sich für Stärkemehlwanderung herausstellen müssen. Jeder Stoff von kleinem osmotischen Aequivalent wird beim Durchgang durch eine permeable Membran in verhältnissmässig grosser Menge diffundiren, und so wird die Zellflüssigkeit einer Zelle, die im Vergleich mit ihrer Nachbarzelle unter einem hohen innern Flüssigkeitsdruck steht, bei dem Process des Druckausgleichs verhältnissmässig viel Glycose an diese abgeben. Hierdurch wird offenbar die nun Glycose-arme Flüssigkeit zur neuen Stärkemehlaufnahme, die nun an Glycose übersättigte zur Stärkmehlablagerung gezwungen werden.

Es ist also leicht ersichtlich, wie in einer gewissen Druckrichtung ausser der einfachen Glycosewanderung, die ja auch ohne eingeschaltete Membran mit der Saftbewegung vor sich gehen würde, noch eine eigentliche Stärkmehl-Wanderung eintreten kann, in einer Weise, dass die Stärkekörner in den Zellencomplexen, von wo der Saftdruck ausgeht, aufgelöst, andererseits in den Zellencomplexen, wohin die Saftbewegung sattfindet, wieder ausgeschieden werden. **)

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass einige Wanderungsrichtungen sich auf diese Weise werden erklären lassen, ***) so namentlich die Wanderung des Stärkemehls nach jungen sich umbildenden Organen mit starker Verdunstung aus Wurzeln und andern Reservestoffbehältern; aber es ist vorderhand nicht abzusehen, wie sich die Wanderungsrichtung aus den producirenden Blättern in andere Organe und gar in

*) Das will sagen: diejenige Menge Wasser, die bei Druckgleichheit für die Einheit der durch die Membran übertretenden Substanz in der entgegengesetzten Richtung durch dieselbe übertritt. Vergl. die achtzehnte Vorlesung.

**) Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die in einer Zelle niedergeschlagenen Stärkekörner, so viel ihrer auch sein mögen, keinen osmotischen Gegendruck auf die benachbarte Zelle auszuüben vermögen, und so eine Wanderung in der Druckrichtung beinahe in's Unbegrenzte gehen kann. Das abgeschiedene Stärkemehl spielt dabei dieselbe Rolle, wie eine bei einer chemischen Reaktion auftretende ungelöste Verbindung, die sich dadurch — ich erinnere an die Berthollet'schen Anschauungen (Kopp: Theoretische Chemie 1863 p. 93) — der weiteren Wechselwirkung entzieht und nun bei der chemischen Massenwirkung ausser dem Spiele bleibt.

***) Mag man immerhin darauf hindeuten, dass es unwahrscheinlich sei, dass die „Glycose“ genannte Zuckerart ein geringeres osmotisches Acquivalent besitzen als das Wasser; bei unserer Vorstellung kommt es wesentlich darauf an, dass dieses Aequivalent kleiner sei, als das der hypothetischen fermentartigen Stoffe, die das Kohlehydrat zwingen, die Glycoseform beizubehalten. Diese Bemerkung mag hier genügen.

die Reservestoffbehälter auf diese Weise wird erklären lassen, denn ein Ueberdruck steht hier für die Wanderungsrichtung durchaus nicht zur Verfügung und doch sind solche umgekehrte Richtungen thatsächlich nachgewiesen. *)

Doch genug von diesen Hypothesen. — Wir haben, um die Wanderung des Stärkmehls von Zelle zu Zelle zu erklären, die Annahme einer Umwandlung des Stärkmehls in einen leicht löslichen, zuckerartigen Stoff gemacht. Dies ist jedoch nicht die einzige Umwandlung, die das Stärkemehl innerhalb der Pflanze und auf der Wanderung erleidet. Alle Umwandlungsprocesse aber stehen jedenfalls zu der Stoffwanderung in der allerinnigsten Beziehung.

Wir haben schon Andeutungen dafür gegeben, dass die Entfaltung neuer Organe, deren stickstofffreie Substanz wesentlich aus Zellstoff besteht, hauptsächlich auf Kosten von Stärkemehl aus den producirenden Blättern oder irgend einem Reservestoffbehälter vor sich geht. Hier muss also — und es ist leicht, dies durch Analysen zu erweisen — eine Umwandlung von Stärkemehl in Cellulose stattfinden, ein Vorgang, der uns, wenn wir einmal die innigen Beziehungen zwischen diesen beiden Substanzen kennen gelernt haben werden, nicht mehr befremden wird. Die Glycose des Zellsaftes scheint unter gewissen Bedingungen, die in wachsenden Zellen erfüllt sind, sich nicht als Stärkmehlkorn, sondern als Zellmembran abzuscheiden. **)

Aber auch den umgekehrten Process hat man häufig beobachtet. So dient der abgelagerte Zellstoff in vielen Fällen als Reservestoff, der beim Austreiben junger Organe im Zellsaft gelöst wird und ganz wie das Stärkemehl zum Aufbau junger Organe Verwendung findet. Das Verhalten des holzigen Endosperms ***) der Dattel ist hiefür ein bekanntes Beispiel; derselbe dient bei der Keimung jener als Baustoff für die sich entfaltenden Triebe.

Als weitere Belege für diese Umwandlungsfähigkeit der einzelnen organischen Substanzen in einander können Keimungsversuche dienen, doch nur solche, wo der Versuch nicht bis zu einer Zeit fortgesetzt wurde, dass chlorophyllhaltige Organe, die selbst neue organische Substanz zu bilden und so den Versuch zu stören im Stande sind, ausgebildet waren, oder solche, wo das Licht ausgeschlossen und so dasselbe erreicht war.

Derartige Versuche sind folgende. 22 Maiskörner entwickelten sich innerhalb dreier Wochen im Dunkeln zu jungen Keimpflanzen und zeigten dabei die folgenden Gewichtsveränderungen der einzelnen Substanzen in Grammen †):

---

*) Selbst wenn man in solchen Fällen veränderte osmotische Kräfte zwischen Glycose und Zellsaft annimmt, welche die Glycose veranlassten, in geringerem Verhältniss durch die Membran zu diffundiren als der Saft überhaupt, so würde nur eine scheinbare Wanderung des Stärkemehls in der entgegengesetzten Richtung resultiren, während thatsächlich eine wenn auch abgeschwächte Glycosewanderung in der Druckrichtung erfolgen würde. Zur Erklärung solcher Wanderungsrichtungen ist es wahrscheinlich nöthig, in verschiedenen Gewebetheilen verschiedene Druckrichtungen anzunehmen.

**) Die Zellhaut ist unter allen Umständen ein Ausscheidungsprodukt des Protoplasma, aber dieses muss reich an gewissen Bestandtheilen (an Glycose) sein, um diese Ausscheidung vollziehen zu können.

***) Vergl. J. Sachs: Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 367.

†) Versuch von Boussingault: Compt. rend. 1864. B. 58. p. 917.

	Körner.	Keimpflanzen.	Differenz.
Trockensubstanz	8,64 Gr.	4,53 Gr.	— 4,11 Gr.
Stärkemehl (Dextrin)	6,39 „	0,78 „	— 5,61 „
Zucker	0 „	0,95 „	+ 0,95 „
Oel	0,46 „	0,15 „	— 0,31 „
Cellulose	0,52 „	1,32 „	+ 0,80 „

während das Gesammtgewicht sich von 9,84 Gr. auf 73,26 Gr. vermehrt hatte.

Ebenso ein Maiskorn in einem Monat:

	Korn.	Keimpflanze.	Differenz.
Trockensubstanz	0,489 Gr.	0,300 Gr.	— 0,189 Gr.
Stärkemehl (Dextrin)	0,362 „	0 „	— 0,362 „
Zucker	0 „	0,129 „	+ 0,129 „
Oel	0,026 „	0,005 „	— 0,021 „
Cellulose	0,029 „	0,090 „	+ 0,061 „

Man erkennt aus diesen Zahlen zweifellos, wie ausser der bedeutenden Gewichtsvermehrung der gekeimten Samen, die aber lediglich auf Wasseraufnahme zurückgeführt werden kann, eine Neubildung von zuckerartigen Stoffen und von Cellulose stattgefunden hat, während das Stärkemehl und das fette Oel beinahe gänzlich verschwunden ist. Es ist also durch einen solchen Versuch bewiesen, dass diese letzteren Stoffe sich in die erstgenannten verwandelt haben.

Aehnliche Folgerungen sind den Versuchen von Peters*) zu entnehmen, deren Resultate, bezogen auf 1000 Samen von Kürbis, für drei Entwickelungsstadien des Keims erhalten worden sind. **)

	Ungekeimter Samen.	Keimpflanzen. I. Periode.	II. Periode.	III. Periode.
Trockengewicht	276,00	274,80	245,10	215,90
Stärkemehl	0	8,89	17,50	6,63
Gummi	Spur	2,56	3,55	6,13
Zucker	Spur	3,81	9,48	12,80
Oel	136,65	103,51	56,43	12,98
Cellulose	8,34	9,33	12,23	21,20
Extraktivstoffe etc.	6,86	22,96	33,01	43,48

Auch aus den diesem Versuche entnommenen Zahlen geht hervor, dass während der Keimung die Trockensubstanz eine successive Verminderung erfährt und dass — was uns hier in erster Linie interessirt — nicht blos Zucker, Gummi,

*) Landw. Versuchsst. 1861. B. III. p. 1—18. Auch die Keimungsversuche von Planta's am Mais (Jahresber. f. Agrik. Chem. 1861—62. p. 76) haben ähnliche Resultate ergeben.

**) Die drei Entwickelungsstadien der jungen Pflänzchen waren folgendermassen charakterisirt:

Erste Periode: Hauptwurzel 2—4 Cm. lang, keine Nebenwurzeln.

Zweite Periode: Die ersten 5—6 Nebenwurzeln bis auf 2—3 Cm. Länge gestreckt. Die Basis der Cotyledonen schwach grün.

Dritte Periode: Die Streckung der Wurzel und des hypocotylen Gliedes vollendet, Cotyledonen ausgebreitet, blattartig, grün. Das erste Blatt beginnt sich zu entwickeln.

Zellstoff und einige andere Stoffklassen, die man gewöhnlich als Extraktivstoffe bezeichnet, sondern auch das Stärkemehl in continuirlicher Zunahme begriffen ist, alle auf Kosten von Oel, das in den Kürbissamen als ausschliesslicher Reservestoff funktionirt. Es ist also in diesem Falle die Umwandlungsfähigkeit jener einzelnen organischen Stoffe in einander vielleicht in noch unzweideutigerer Weise bewiesen, als durch jenen ersten Boussingault'schen Versuch.

Die Wanderung dieser anderen stickstofffreien Stoffe in der Pflanze ist nun, soweit sie in gelöster Form in der Zellflüssigkeit sich befinden, äusserst schwer controlirbar, und wenig oder nichts über eine solche bekannt. Da dieselben jedoch alle zum Stärkemehl in genetischen Beziehungen zu stehen scheinen, und häufig, ehe sie die Wanderung beginnen, eine Umwandlung *) in Stärkemehl vollziehen (so dass sie in Form von Stärkemehl die Wanderung antreten), so werden wir zweckmässig erst einen noch allgemeineren Blick auf diese genetischen Beziehungen zu werfen haben, ehe wir auf die Wanderung dieser Stoffe näher eingehen.

Zunächst lässt sich in Bezug auf die Umwandlung stickstofffreier organischer Körper etwas ganz Allgemeines hervorheben, wozu man auf rein theoretischem Wege geführt wird. Die hier zu entwickelnden Grundsätze gehen einfach hervor aus dem Princip, dass eine chemische Umwandlung niemals unter Anhäufung von chemischen Spannkräften stattfinden kann, es sei denn, dass eine äussere Kraftquelle zu Gebote steht, aus deren Verbrauch sich jene Anhäufung erklärt. Ich habe es nicht für überflüssig gehalten, diesen eigentlich selbstverständlichen Grundsatz hier hervorzuheben, da ihm nur gar zu oft von Seiten der Chemie und Pflanzenphysiologie keine Beachtung geschenkt wird, also dass man ohne Weiteres sich eine Pflanzensäure in ein Kohlehydrat verwandeln lässt (mit gleichviel Kohlenstoff), ohne zu bedenken, dass hiezu eine Kraft erforderlich ist, welche die nöthige Arbeit leistet.

Wenn ich schematisch ein Kohlehydrat mit der Formel $xC + yH_2O$ bezeichne, so wird man ein jedes Fett ausdrücken können durch die Formel $x_1C + y_1H_2O - z_1O$, eine der gewöhnlichen Pflanzensäuren durch die Formel $x_2C + y_2HO + z_2O$, worin die Buchstaben des kleinen Alphabets je nach der chemischen Verbindung, den die Formel vorstellt, sehr verschiedene Werthe haben können.

Lassen wir nun ein Kohlehydrat in eine Pflanzensäure übergehen, so kann dies offenbar unbeschadet des aufgestellten Princips durch einfache Oxydation geschehen, **) ebenso der Uebergang eines Fetts in eine Pflanzensäure oder in ein Kohlehydrat. Bei einer solchen Verbrennungserscheinung findet Verlust an chemischen Spannkräften, der sich gewöhnlich durch deren Uebergang in Wärme äussert, statt. Zu einer solchen chemischen Aktion sind keine von Aussen stammenden Kräfte erforderlich. Es steht also der Erfüllung der Gleichungen:

---

*) So verwandelt sich das Inulin der Knollen von Dahlia und anderen Pflanzen, ebenso der Rohrzucker, der als Reservestoff in vielen Wurzeln auftritt, bei dem Austreiben in Stärke (resp. Glycose), die auf dem Wege zu den sich ausbildenden Organen anzutreffen ist.

**) Vorausgesetzt natürlich, dass die sonstige Constitution der Verbindungen Dies zulässt.

$$(xC + yH_2O) + z_2O = (x_2 C + y_2 H_2O + z_2O)$$
$$\text{für } x = x_2,\ y = y_2$$
$$(x_1C + y_1H_2O - z_1O) + (z_1 + z_2) O = (x_2C + y_2H_2O + z_2O)$$
$$\text{für } x_1 = x_2,\ y_1 = y_2$$
$$(x_1C + y_1H_2O - z_1O) + z_1O = (xC + yH_2O)$$
$$\text{für } x = x_1,\ y = y_1,$$

die als chemische Gleichungen (d. h. also in Bezug auf die Anzahl der Atome auf beiden Seiten) unzweifelbar richtig sind, auch in Bezug auf ihre Erfüllbarkeit in Rücksicht der chemischen Spannkräfte kein Hinderniss entgegen. Die Gruppirung der Stoffe auf der linken Seite der Gleichungen repräsentirt mehr chemische Spannkraft, als auf der rechten Seite, ein Beweis für die Möglichkeit der durch die Gleichungen ausgedrückten chemischen Umsetzungen.

Ganz anders verhält es sich beim Umdrehen dieser Gleichungen, wodurch die umgekehrten Umsetzungen (Pflanzensäuren in Kohlehydrate und Pflanzensäuren und Kohlehydrate in Fette) vorgestellt würden. Die Gleichungen bleiben natürlich beim Vertauschen der linken und rechten Seite als chemische Gleichungen richtig. Ob aber der durch die neue Anordnung angedeutete Uebergang sich bewerkstelligen lässt, ist eine andere, hievon unabhängige Frage. Da durch den vorhin betrachteten Uebergang Kräfte frei werden, so lässt sich ohne Weiteres behaupten, dass beim entgegengesetzten Umsatz Kräfte werden gebunden werden müssen, Kräfte, die nicht in jeder Pflanzenzelle zur Verfügung stehen und zu deren Anspannung es eines besondern Apparats, wie des der chlorophyllhaltigen Zelle bedarf.

Da wir nun aber den letzterwähnten Umsatz in der Pflanze unabhängig von dem Vorhandensein chlorophyllhaltiger Zellen häufig wahrnehmen, wie z. B. bei der Bildung eines fetthaltigen Samens, dessen Fett wir in den meisten Fällen unbestreitbar indirekt aus den Stärkeeinschlüssen des Chlorophylls herleiten müssen, und das auch in Form von Stärke bis an den Samenbehälter auf der Wanderung sich verfolgen lässt, so kann der in Rede stehende Reduktionsprocess nicht einfach durch die Umkehrung obiger Gleichungen versinnbildlicht werden, denn diese Gleichungen würden in Hinsicht der chemischen Spannkraft zu Gunsten der rechten Seite Ungleichungen sein, wodurch die Reaktion ohne einen geeigneten Kraftbindungs-Apparat zur Unmöglichkeit wird. Wir müssen daher den entgegengesetzten Uebergang durch andere Gleichungen versinnbildlichen, denen sich ein solcher Vorwurf nicht machen lässt.

$$(x_2C + y_2H_2O + z_2O) = (xC + yH_2O) + \frac{z_2}{2} CO_2$$
$$\text{für } y_2 = y,\ x_2 = x + \frac{z_2}{2}$$

wäre eine solche Gleichung für den Uebergang von Pflanzensäuren in Kohlehydrate, die vielleicht *) diesen Anforderungen genügt, wenigstens kennen wir analoge Uebergänge für Kohlehydrate in fettartige Körper, wobei noch chemische Spannkraft frei wird, nemlich der Zerfall von Zucker in Alkohol und Kohlensäure nach der Formel:

*) Vergl. übrigens die neunte Vorlesung, wo von dem hypothetischen Uebergange von Pflanzensäuren in Zucker beim Reifen der Früchte die Rede ist.

$$(6C + 6H_2O) = (4C + 6H_2O - 4O) + 2CO_2$$

nach dem allgemeinen Schema:

$$(xC + yH_2O) = (x_1C + y_1H_2O - z_1O) + \frac{z_1}{2} CO_2$$

$$\text{für } x = x_1 + \frac{z_1}{2},\ y = y_1.$$

Das heisst also mit andern Worten, *soll in einem beliebigen Pflanzentheil, in dem keine Kraftquelle zur Leistung von chemischer Arbeit zur Verfügung steht, ein Reduktionsprocess stattfinden, so kann ein solcher stets nur in einer partiellen Reduktion mit gleichzeitiger partieller Oxydation bestehen,**) da nur auf diese Weise dem Postulat genügt werden kann, *dass keine Vermehrung der chemischen Spannkräfte eintritt.* Dies gleichzeitige Oxydationsprodukt scheint in der Regel Kohlensäure zu sein, wegen der in dieser Verbindung so vollkommenen Ausgleichung der chemischen Spannkräfte. Es steht jedoch nichts im Wege, dass bei solchen Umsetzungen gleichzeitig auch andere relativ hoch oxydirte Verbindungen entstehen, und will ich nur an die bei der alkoholischen Gährung neben Kohlensäure auftretende Bernsteinsäure erinnern.

Aus dieser Betrachtung geht gleichzeitig hervor, dass die Oxydation nicht auf umgekehrte Weise, d. h. durch Aufnahme von Kohlensäure oder relativ hoch oxydirter Körper geschehen kann, denn hierdurch würde ja — mit Sicherheit in den bekannten Fällen — chemische Spannkraft entstehen, was unserer Annahme zuwiderläuft.

Aehnliche Betrachtungen lassen sich nun auch für die allerdings weit geringeren Affinitäten des Wassers (zu dem nach Abzug desselben bleibenden Rest der organischen Verbindung) anstellen, und wirklich sind wir ausserhalb der Pflanze nur fähig, die Kohlehydrate in wasserreichere, nicht in wasserärmere zu verwandeln, da es uns an den geeigneten chemischen Kräften gebricht, welche die zu dem letzteren Uebergang erforderliche chemische Arbeit zu leisten fähig sind.

Diese in der lebenden Pflanze fortwährend vor sich gehenden Stoffumwandlungen können also, wenn wir von Wasser-Aufnahme oder -Abgabe, zu deren Erkennung wir in dem wasserreichen Pflanzengewebe keine Mittel haben, absehen, nur vor sich gehen unter vorwiegender *Sauerstoffaufnahme* oder *Kohlensäureabgabe,* je nachdem oxydirtere oder reducirtere Stoffe Entstehung nehmen. Dieser Gasaustausch — und mit demselben werden wir uns in einer späteren Vorlesung eingehend beschäftigen — findet nun wirklich im lebenden Pflanzengewebe fortwährend statt und kann überall da, wo der entgegengesetzte Process, der nur in der chlorophyllhaltigen Zelle unter Mitwirkung des Sonnenlichts stattfindet, in den Hintergrund tritt, experimentell nachgewiesen werden. Derselbe stellt offenbar in seiner Gesammtheit einen wahren Verbrennungsprocess dar, denn er erfolgt nicht blos unter stetigem Verlust an chemischen Spannkräften, sondern er ist auch, wenn wir z. B. ein Kohlehydrat in ein Fett und dann wieder dieses Fett in das ursprüngliche Kohlehydrat verwandeln, als eine *einfache vollständige Oxydation* eines Theils des Kohlehydrats zu betrachten, wobei die Verbrennungswärme dieses Theils ein Mass für die bei beiden Processen freigewordenen Spannkräfte vorstellt.

---

*) Aehnliche Vorstellungen schon bei Rochleder: Phytochemie 1854. p. 320—21.

Aus der gemachten Ableitung ist deutlich zu ersehen, eine wie vielfache Umsetzung der organischen Körper in einander in ganz beliebigen pflanzlichen Geweben mit dem Princip der Erhaltung der Kraft in Einklang zu bringen ist. Eine grosse Anzahl von Umsetzungen dieser Art sehen wir in den Pflanzen wirklich vor sich gehen. Ganz bedeutende Oxydationsprocesse finden z. B., wie wir vorhin gesehen, statt bei dem Auskeimen fetthaltiger Samen, wobei stets eine grosse Masse Kohlehydrate, vorwiegend immer Stärkemehl, aber auch Zucker, Dextrin, Holzfaser entstehen. Aber auch höher oxydirte Körper treten bei der Keimung auf, wie Essigsäure, Aepfelsäure-Verbindungen, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass alle Pflanzensäuren solchen Oxydationserscheinungen ihre Entstehung verdanken; wenigstens berechtigt kein experimenteller Nachweis zu der Annahme der Entstehung dieser sauerstoffreichen Verbindungen durch direkte Produktion aus anorganischem Material in der chlorophyllhaltigen Zelle.

Von Reduktionserscheinungen in der lebenden Pflanze ist mit Sicherheit nur der Uebergang von Kohlehydraten in Fette bekannt, bei Bildung ölhaltiger Samen oder Anlegung anderer fetthaltiger Reservestoffbehälter in Pflanzen, in deren Chlorophyll nur Stärkemehleinschlüsse beobachtet werden konnten. Der Uebergang von Pflanzensäuren in Kohlehydrate kann noch nicht als erwiesen angesehen werden, obwohl gewisse Vorgänge *) in reifenden Früchten einen solchen Sachverhalt anzudeuten scheinen.

Diese Besprechung der Umwandlungsfähigkeit und der hiezu erforderlichen Bedingungen musste nothwendig einer Betrachtung der Wanderung der andern stickstofffreien organischen Stoffe vorausgehen, weil hiermit ein Theil dieser Aufgabe schon als gelöst erscheint.

Den Fetten scheint nun als solchen trotz jener Umwandlungsfähigkeit vielleicht eine geringe Wanderungsfähigkeit zuzukommen. **) Dieselben scheinen in der That im Stande zu sein, unter gewissen Umständen die Zellhaut zu durchdringen; aber *in der Regel* findet doch die gesammte Stoffwanderung der stickstofffreien organischen Substanz als Stärkemehl, resp. als Glycose, d. h. also in der Form von Kohlehydraten statt und erst am Ende des Wegs findet die Verwandlung in diejenigen Stoffe statt, die an der betreffenden Stelle verbraucht oder aufgespeichert werden sollen. Das Gleiche gilt aber selbst für eine Reihe von Kohlehydraten, für Inulin***), Rohrzucker†), die als Reservestoffe in gewissen Pflanzen dienen.

Für die Pflanzensäuren sind diese Wechselbeziehungen mit den Kohlehydraten, wie überhaupt ihre Funktionen in der Pflanze noch durchaus im Unklaren und ein Gleiches gilt auch noch für die Pektinstoffe. Es ist aber keinenfalls sehr wahrscheinlich, dass diese Stoffe als plastisches Material wiederum Verwendung finden können zum Aufbau neuer Organe. Die Nothwendigkeit zum Transport dieser Stoffe ist daher eine sehr problematische, und findet jener keinenfalls in dem ausgedehnten

*) Z. B. beim Reifen der Trauben, wovon später ausführlicher die Rede sein soll. Vergl. die neunte Vorlesung.

**) Vergl. J. Sachs: Handbuch d. Experim. Phys. d. Pfl. p. 378.

***) In den Knollen der Dahlien, der Topinambur, in der Cichorie etc.

†) Z. B. in der Runkelrübe, Zuckerrübe etc.

Massstab statt, wie wir ihn für das Stärkemehl kennen gelernt haben, einfach weil der Verbrauch eines Stoffes als wesentliches Moment zu dessen Translocation mitwirkt.

Aus dem Allem geht hervor, dass wir mit der Betrachtung der Wanderung des Stärkemehls eigentlich schon die Betrachtung für die Wanderung der gesammten stickstofffreien organischen Substanz erledigt haben, denn dieselbe scheint auf grössere Strecken beinahe ausnahmslos in der Form von Stärkemehl zu geschehen. *) Es ist auch bei der besprochenen erfahrungsmässig so weitgehenden Umwandlungsfähigkeit gar nicht abzusehen, welcher Nutzen in einer vollkommneren Transportabilität der übrigen stickstofffreien organischen Substanzen liegen könnte.

In der nächsten Vorlesung „über die Pflanzenathmung" werden wir auf einige der hier besprochenen Umwandlungsprocesse noch einmal zurückkommen. Wir werden dann noch deutlicher sehen, wie die vorzugsweise Kohlensäureausgabe oder die vorherrschende Sauerstoffaufnahme von dem vorwiegend stattfindenden Reduktions- oder Oxydationsprocess in der Pflanze abhängig ist, Beziehungen, deren Nothwendigkeit aus den früheren Ableitungen hervorgeht.

Noch ist zu erwähnen, dass die bei allen den eben besprochenen Umsetzungen freiwerdenden Kräfte mittelbar oder unmittelbar als Wärme auftreten, dass aber diese freie Wärme nur in seltneren Fällen sich unserer Wahrnehmung darbietet. Schon daraus geht hervor, dass, wie wir bald noch deutlicher erkennen werden, die Verbrennungsprocesse in der Pflanzenwelt im Allgemeinen mit viel geringerer Intensität verlaufen, als die analogen Processe in der Thierwelt, bei denen wir in den meisten Fällen ganz erhebliche Wärmequantitäten auftreten sehen.

Mit den nun erlangten Kenntnissen über Stoffwanderung und Stoffmetamorphose — wenn dieselben uns auch keinen irgendwie zureichenden Aufschluss verschaffen über die chemischen und physikalischen Ursachen dieser Wanderung — gelangen wir nun zu einer ziemlich deutlichen Vorstellung über die Bedeutung der organischen Substanz im Pflanzenleben und die physiologische Tendenz der Wanderungsrichtung derselben. Wir sind, ausgerüstet mit denselben, im Stande, die Hauptzüge des Werdens und Vergehens eines pflanzlichen Organismus unserem Verständniss nahe zu bringen. —

Ein keimfähiger Same fällt auf das fruchtbare Erdreich, wo die Bedingungen seiner Entfaltung (die wir hier noch nicht alle zu kennen und zu berücksichtigen brauchen) in vollem Masse vorhanden sind. Der Same ist *gleichzeitig ein entwickelungsfähiges Individuum und ein Reservestoffbehälter*; — in gewissen Theilen des ihm angehörenden Gewebes sind organische Stoffe: Stärkemehl oder Oel und andere Stoffe dichtgedrängt zusammengehäuft. Der Same keimt, d. h. erwacht aus seinem todtenähnlichen Zustand, bildet eine Reihe von Organen und wird der Sitz von lebhaften Vegetationsprocessen. Zur Bildung der neu sich entfaltenden Organe sind die Baustoffe derselben nothwendig. Diese sind im Wesentlichen, soweit sie aus organischer Materie bestehen, Zellstoff und die Bestandtheile des Protoplasma und leiten mit Nothwendigkeit ihre direkte oder indirekte Abkunft von jenen

*) Von den Gewebeformen, in denen die Wanderung des Stärkemehls und anderer organischer Substanzen sich vollzieht, soll später beiläufig die Rede sein.

Reservestoffen her, die in dem Masse, als sich die neuen Organe ausbilden und vermehren, verschwinden. Dieselben sind verflüssigt worden und nun in Form von Zucker in dem Zellsafte enthalten, und der an diesem Stoffe reiche Zellsaft scheidet wiederholt auf seinem Wege zu den sich entfaltenden Organen Stärkekörner ab, die aber wieder unter Erleidung der entgegengesetzten Umwandlung in einem späteren Zeitmomente gelöst werden und schliesslich zur Bildung der Zellhaut an den Orten des Wachsthums und der Neubildung gelangen. Dieser Process geht alsdann in gleicher Weise kürzere oder längere Zeit fort und ist in seiner Dauer abhängig von der Menge der aufgespeicherten organischen Stoffe. Sind diese als Baumaterial verbraucht, und die aus dem Keime entstandene Pflanze hat bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht die Fähigkeit erlangt, im Lichte selbst organische Substanz zu erzeugen. d. h. sind die chlorophyllhaltigen Organe noch nicht in vollkommener Tauglichkeit entwickelt, oder ist keine genügend intensive Lichtquelle vorhanden, so ist auch dem Leben der Pflanze eine Grenze gesetzt, sie stirbt, wie wir dies in einem speziellen Falle, an der etiolirten Pflanze, beobachtet haben. Die Dauer dieses Zustandes ist in Folge dessen neben andern Dingen abhängig von der Grösse des Reservestoffbehälters des ausgelegten Samens.

Sind dagegen die chlorophyllhaltigen Organe, die Blätter und grünen Stengel — wie dies bei der normalen Entwickelung der Fall ist — bis zur Erschöpfung jenes aus andern Vegetationsperioden aufgespeicherten Vorraths an organischer Materie, in genügender Weise ausgebildet, so beginnt jetzt ein von dem ersten ganz verschiedenes Stadium des Pflanzenlebens. In den chlorophyllhaltigen Zellen entsteht, wie wir uns erinnern, aus anorganischem Materiale organische Substanz: Stärkemehl oder ein stellvertretender Stoff, und somit ist eine neue Quelle gegeben für den Baustoff der noch weiter sich ausbildenden Organe. Ganz wie früher das Stärkemehl unter abwechselnder Ueberführung in einen gelösten Stoff und wiedererfolgender Abscheidung aus dem Reservestoffbehälter in die jungen Triebe wanderte, so geschieht dies jetzt mit dem neugebildeten, in der chlorophyllhaltigen Zelle vorhandenen, um dann endgültig als Zellstoff in den wachsenden und sich theilenden Zellen abgelagert zu werden.

Dieser Process dauert so lange fort, bis die Pflanze — in Folge der Einschränkung, die das morphologische Gesetz bedingt — ihr äusserlich wahrnehmbares Wachsthum beendigt hat, bis sie (wenigstens für's Erste) aufhört, neue Triebe zu bilden. Nun kann die noch fort und fort unter dem Einflusse des Lichts sich bildende organische Substanz nicht mehr als Baustoff in den Neubildungen Verwendung finden; die Wanderungstendenz wird — Niemand weiss aus welcher physikalischen Ursache — wieder eine andere. Die organische Substanz verbleibt auch jetzt nicht in der chlorophyllhaltigen Zelle, dem Orte ihrer Entstehung, sondern wird in ganz bestimmten, aber für verschiedene Pflanzenformen häufig ungleichwerthigen Geweben, den sogenannten „Reservestoffbehältern“ *) aufgespeichert, einer spätern Entwickelung

---

*) Strenggenommen gibt es auch Orte der Aufspeicherung organischer Stoffe, ohne dass diese später als Reservenahrung dienen können. Ich meine nicht blos die Anhäufung von organischen Stoffen, die in keiner Wechselbeziehung zu den als Bildungsmaterial für neue

junger Organe in der erst beschriebenen Weise zur Nahrung dienend. Auch hier sind die Reservestoffe wieder je nach den Pflanzen und den verschiedenen Geweben, die als solche Behälter dienen, sehr verschiedene; also auch auf diesem Wege sind Stoffumwandlungen in der mehrfach angedeuteten Weise durchaus unvermeidlich.

Der Same, oder vielmehr die den Embryo umgebenden Gewebetheile des Samens sind für die einjährigen Gewächse die ausschliesslichen Reservestoffbehälter. Ganz anders aber liegt die Sache bei den mehrjährigen Gewächsen, besonders in den gemässigten und den kälteren Zonen. Bei diesen besitzt das *einzelne Individuum* einen winterlichen Ruhezustand, den es antritt unter Verlust seiner vergänglichsten Organe, um alsdann im Frühjahr sich wieder weiter zu entwickeln und die verlorenen Organe wieder von Neuem aus sich heraus zu entwickeln.

Zu dieser Neuentwickelung sind, genau wie zu der ersten Entwickelung eines Pflanzenindividuums, organische Stoffe erforderlich, auf Kosten von denen die Neubildung stattfindet, und diese Stoffe müssen durch die Vegetationsthätigkeit der früheren Jahre erzeugt und dann aufbewahrt worden sein.

So finden wir denn bei den nicht immer grünen mehrjährigen Gewächsen auch Reservestoffbehälter in ganz andern Gewebetheilen als den Samen, und zwar in sehr verschiedenartigen Gewebetheilen der (überwinternden) Pflanze, aber selbstverständlich immer in einem Dauergewebe, niemals in Blättern, Blüthen und den Stengeltheilen, die abgeworfen werden. Bei manchen Pflanzen, wie bei den Rüben, ist die Wurzel, bei manchen sind morphologisch anderswerthige unterirdische Theile, wie Knollen und Zwiebeln, bei andern endlich der oberirdische Stamm selbst, das Holz desselben Reservestoffbehälter, die sich im Winter mehr oder minder dicht mit Stärkemehl oder einem physiologisch gleichwerthigen Stoffe angefüllt zeigen, um im Frühjahr dem Saft, aus dem die Neubildung der Organe erfolgt, die nöthigen organischen Stoffe darzubieten und so aus dem Winterlager zu verschwinden. Die Anhäufung in diesen verschiedenartigen Behältern ist ein genaues Analogon für die mehrjährigen Gewächse zu jener Ablagerung des Bildungsmaterials in der Nähe des Keimlings bei den einjährigen, mit jedem Frühling auf's Neue aus dem Samen sich entwickelnden Gewächse.

Organe dienenden Substanzen, von denen wir handeln, stehen und dem sogenannten „Rückbildungsprocesse" angehörend, als wahre Excremente der Pflanze zu betrachten sind, wie von Harz, Gummi, ätherischen Oelen und mehreren andern Substanzen, sondern die Aufspeicherung von Kohlehydraten und anderen als Reservenahrung an sich brauchbaren Stoffen in Gewebetheilen, wo sie niemals, als Nahrung einer neuen Vegetationsperiode aufzutreten, im Stande sind. Dahin gehört namentlich die Anhäufung von zuckerartigen Stoffen in jenen äussern Hüllen der Samen, die wir im gemeinen Leben als Früchte bezeichnen. Die daselbst niedergelegten organischen Substanzen können, wie leicht ersichtlich, niemals einer neuen Vegetation, dem Keimling zu Gute kommen, auch schon aus dem Grunde nicht, weil dieser äussere Theil fast unter allen Umständen durch Fäulniss zerstört ist, ehe der Same zum Keimen gelangt, und die Tendenz der Pflanze, derartige Ablagerungen zu machen, kann nur ein Resultat der natürlichen Züchtung sein, indem durch diese Einrichtung die Frucht als thierisches Nahrungsmittel brauchbarer und angenehmer wird und der Durchgang durch den thierischen Organismus manche Vortheile für die Samen im Kampfe um's Dasein bieten mag. Uebrigens wird auch die düngende Wirkung der verfaulten Frucht für den aus dem Samen sich entwickelnden Keimling von Vortheil sein können.

In diesem Zusammenhange wird uns erst die ganze Ausdehnung des Processes der Stoffwanderung im Verein mit der Umbildung der organischen Stoffe in einander in ihrer Bedeutung für das Pflanzenleben verständlich. Wir vermochten schon mit den wenigen Kenntnissen, die wir uns über die Ernährungsprocesse der Pflanzen bis jetzt angeeignet haben, in den Hauptzügen ein ziemlich klares Bild uns vorzuführen von den Grunderscheinungen des Haushalts dieser Organismen.

Wir wollen uns auch heute wieder die Sätze in's Gedächtniss zurückrufen, zu deren Aufstellung die gemachten Betrachtungen uns befähigen, und die wir als ein feststehendes Resultat derselben anzusehen berechtigt sind:

1) Die in der chlorophyllhaltigen Zelle gebildete organische Substanz ist fähig, Zellhaut und Primordialschlauch durchdringend, von einer Zelle zur andern zu wandern und so schliesslich in ganz entlegene Theile der Pflanze zu gelangen.
2) Wie das hauptsächlichste Produkt der ersten Assimilationsthätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle das Stärkemehl ist, so ist auch dieser Stoff in den meisten Fällen diejenige chemische Form, in der wir die organische Substanz die Wanderung vornehmen sehen.
3) Das Stärkemehl als solches ist unfähig, die Zellhaut zu durchdringen, und so wird dasselbe bei Vollzug dieses Aktes vorübergehend in einen im protoplasmatischen Zellsaft löslichen, wahrscheinlich zuckerartigen Stoff verwandelt.
4) Es existiren in der lebenden Pflanze mannigfache Arten des Uebergangs der einzelnen organischen Stoffe in andere, so dass sehr verschieden zusammengesetzte in gewissem Sinn als physiologisch gleichwerthige betrachtet werden können.
5) Die producirte organische Substanz kann verwendet werden zur Ausbildung neuer Organe, deren Zellstoff auf das Stärkemehl, das der Bildungssaft aufgenommen hat, oder einen stellvertretenden Stoff zurückgeführt werden kann.
6) Ein Theil der producirten organischen Substanz, der nicht in der gerade gegenwärtigen Vegetationsperiode zur Neubildung Verwendung findet, wird in der Pflanze in zweckmässig gelegenen Gewebetheilen in Form von Stärkemehl, Inulin, Zucker, Oel aufbewahrt, um einer kommenden Vegetation zur Nahrung zu dienen.

Siebente Vorlesung.

Die Pflanzenathmung. — Beziehung der Stoffumwandlung zur Athmung.

Wenn man in früherer Zeit von Athmung der Pflanzen sprach, so verstand man darunter den unter Einfluss des Sonnenlichts stattfindenden Process der Kohlensäureaufnahme und Sauerstoffabgabe. Man drückte sich so aus, dass man sagte: Bei den Pflanzen sei die Athmung umgekehrt wie bei den Thieren, das Athmungsprodukt der einen Organismengruppe sei die Lebensluft der andern und umgekehrt und knüpfte hieran die bekannten Betrachtungen über die Wichtigkeit der Funktion

der Pflanzen für die Erhaltung der Brauchbarkeit der Atmosphäre für menschliche und thierische Athmung.

Heut' zu Tage versteht der Pflanzenphysiologe (nach dem Vorgang Garreau's) unter *Athmung der Pflanzen* ausschliesslich *einen der thierischen Athmung wesentlich analogen Process*. Er zeigt uns, wie die Kohlensäureaufnahme und Sauerstoffabgabe ein Vorgang ist, der im Thierreiche (oder schärfer: im Reiche der chlorophylllosen Organismen) kein Analogon hat, wie der Vergleich dieses Processes mit der thierischen Athmung nur den Gasaustausch zum tertium comparationis hat und durchaus ungereimt ist.*) Wir haben in den früheren Vorlesungen ja wiederholt die Thatsache betont, dass bei dem Processe, der in der chlorophyllhaltigen Zelle im Lichte unter Sauerstoffabscheidung vor sich geht und den man früher als Athmung der Pflanzen bezeichnete, eine chemische Arbeit geleistet wird. Die thierische Athmung dagegen ist ein Oxydationsprocess, bei dessen Verlauf chemische Kräfte verloren gehen. Wir haben es also in dieser letzteren mit einer Erscheinung zu thun, die in jener wichtigen Beziehung gerade das Umgekehrte ist von dem früher unzweckmässiger Weise als Pflanzenathmung bezeichneten Vorgang.

Alle Pflanzen unterhalten in der That, abgesehen von dem Gasaustausch, mit dem wir uns in den früheren Vorlesungen so eingehend beschäftigt haben, noch einen andern Gasaustausch, der gerade so wie die Athmung der Thiere in *der Aufnahme von Sauerstoff und der Ausgabe von Kohlensäure* besteht. Dieser Gasaustausch ist für die Erhaltung der Pflanzen genau so unentbehrlich wie der gleiche Vorgang beim Thiere.**) Die Pflanzen haben gerade wie die Thiere zu ihrem Leben Sauerstoff absolut nothwendig.

Der ausgesprochene Sachverhalt lässt sich durch das Experiment leicht darlegen. Schliessen wir eine Pflanze vom Zutritt des Sauerstoffs vollständig ab, bringen wir sie in ein indifferentes Gas, das nachgewieser Massen an sich keinerlei Schädigung herbeiführen kann, z. B. in Wasserstoff oder Stickstoff, so hören zuerst die charakteristischen Lebenserscheinungen, Protoplasmaströmung und die vielen Pflanzen eigenthümliche selbständige Bewegung nach einem Reize auf. Dauert eine solche Absperrung vom Sauerstoff längere Zeit, so kehren auch die genannten Lebenserscheinungen nach Zutritt des Sauerstoffs nicht wieder zurück; die Pflanze stirbt unter solchen Umständen genau wie das Thier den Erstickungstod.

---

*) J. Sachs hat (vergl. dessen Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 287) für den logischeren Gebrauch des Wortes „Athmung" in der Pflanzenphysiologie eine Lanze gebrochen. Es heisst dort: „Zu sagen, eine Pflanze athmet, wenn sie am Lichte Kohlensäure „zersetzt, ist thatsächlich eben so sonderbar, wie wenn man von einem Thier, das soeben „frisst, aussagen wollte, es athme seine Nahrung ein."

**) Als Entdecker der Athmung der Pflanze muss wohl Ingen-Housz betrachtet werden. Derselbe sprach schon im Jahre 1798 aus: „er habe entdeckt, dass alle Vegetabilien unaufhörlich einen grossen Theil der sie umgebenden Luft in Kohlensäure verwandeln; die „Wurzeln, Blättchen und Früchte thun es beständig, selbst im Sonnenschein; nur die grünen „Blätter und Sprossen hören auf, dies zu thun, wenn sie vom Sonnenschein oder hellen „Tageslicht getroffen werden, sie hauchen alsdann eine beträchtliche Menge Sauerstoff aus." Vergl. J. Sachs: A. a. O. p. 289.

Es versteht sich nun eigentlich von selbst, dass bei grünen lebenden Pflanzen der Sauerstoffausschluss nur mit dem Ausschluss von Licht zusammen geschehen kann, da ja von einer solchen Pflanze im Lichte Sauerstoff ausgegeben wird. Gleichwohl war die Thatsache, dass grüne Pflanzen, in einen Recipienten gebracht, der nur Wasser und Stickgas enthielt, und so lange man es unterliess, das Licht auszuschliessen, nicht zu Grunde gingen, geeignet, den wahren Sachverhalt eine Zeit lang zu verhüllen. In einem solchen Falle kann eben die Kohlensäure, die in den pflanzlichen Geweben enthalten zu sein pflegt, durch die Produktionsthätigkeit der Pflanze zerlegt werden, und der so gebildete Sauerstoff reicht in den meisten Fällen aus, die Pflanze vor dem Erstickungstode zu schützen.

Wir können indessen nicht bei der einfachen Constatirung dieser Thatsache stehen bleiben; es wird vielmehr unsere Aufgabe sein, auf den Charakter derjenigen physiologischen Processe, welche der Sauerstoffzufuhr bedürfen und durch Abschluss von diesem Gase so sehr beeinträchtigt werden, dass der Tod der Pflanze erfolgen kann, etwas näher eingehen.

Die charakteristischsten Lebenserscheinungen einer Pflanze sind unstreitig die *Bewegungsvorgänge des Protoplasma.* Eine jede Pflanzenzelle, welche der Neubildung, der Vermehrung noch fähig ist, zeigt sich mit einem Protoplasma angefüllt, das bald geringere, bald stärkere Bewegungen ausführt. In den Lehrbüchern der Pflanzenphysiologie findet man ganze umfangreiche Kapitel, in welchen lediglich diese Vorgänge besprochen werden. Die Art der Protoplasmabewegung ist am Besten einer Strömung vergleichbar und wird auch geradezu als eine solche bezeichnet. Man unterscheidet zweierlei solcher Bewegungen: rasche Strömungen, die nie lang andauern, bei ihrem Entstehen nach hinten um sich greifen und sich nur auf strangförmige Partien des protoplasmatischen Zellinhalts erstrecken und ausserdem: langsame Gestaltsveränderungen durch die ganze Masse des Protoplasma.*)

Diese merkwürdigen Strömungserscheinungen, mit deren weiterem Studium wir uns hier nicht beschäftigen werden, stehen in der innigsten Beziehung zu allen wichtigeren Lebenserscheinungen der Pflanzen. Alle Vorgänge der Zelltheilung, der Zellverjüngung und freien Zellbildung, eine jede geschlechtliche Erscheinung, kurz alle wichtigeren Vegetationsprocesse einer lebenden Pflanze sind an bewegtes Protoplasma unabänderlich geknüpft. Die Wimpern**) der Schwärmsporen und Spermatozoïden der verschiedensten Kryptogamen sind freie in's Wasser ragende Protoplasmastränge, und die eigenthümlichen Bewegungen dieser Sporen müssen auf die Bewegungen dieser Protoplasmastränge zurückgeführt werden u. s. f.

Für die Bewegung des Protoplasma ist nun neben einer Reihe von andern Bedingungen die *Anwesenheit des Sauerstoffs* unumgänglich nothwendig. Bringen wir Zellen mit lebhaft strömendem Protoplasma unter Oel oder unter luftfreies Wasser, so hört die Strömung des Protoplasma nach kurzer Zeit auf, wie man leicht

*) Ein sehr zweckmässiges und häufig benutztes Beobachtungsmaterial für die Bewegungserscheinungen des Protoplasma sind die nackten Plasmodien der Myxomyceten z. B. von Didymium Serpula oder Aethalium septicum, die häufig eine beträchtliche Grösse (bei Didymium und einigen anderen die Grösse von mehreren Quadratcentimetern) erreichen.

**) Vergl. Hofmeister: Die Lehre von der Pflanzenzelle p. 28 u. f.

beobachten kann, wenn man solche Zellen unter dem Mikroskope betrachtet (wozu freilich eine eigenthümliche hier nicht näher zu beschreibende Vorrichtung gehört), um wieder einzutreten bei Zuführung von Sauerstoff, es sei denn, dass die Zelle durch ein längeres Verweilen in den ungünstigen Bedingungen des Abschlusses vom Sauerstoff völlig getödtet worden ist. — Genau das Gleiche tritt ein, wenn man den Sauerstoff auf die Weise ferne hält, dass man die Zelle in eine Atmosphäre von Wasserstoff oder Stickstoff — lauter an sich unschädliche Gase bringt.

Gleichzeitig hat man nun stets beobachtet — und dies ist eine Thatsache von grosser Wichtigkeit —, dass Pflanzentheile mit Zellen von reichlichem Protoplasmagehalt stets Kohlensäure*) in erheblichen Mengen ausscheiden, und hierdurch wird also die wahre Athmung (der thierischen durchaus analog) des lebenden und sich bewegenden Protoplasma in einem weitern charakteristischen Merkmal festgestellt. Ferner hat man sogar (wiederum ganz analog der thierischen Athmung) Wärmeentwicklung an solchen mit bewegtem Protoplasma versehenen und athmenden Pflanzentheilen beobachtet, wenn auch meistens nicht bis zu Temperaturhöhen, wie sie in Folge der thierischen Athmung gewöhnlich sind.

Die Thatsache, dass die Beweglichkeit des Protoplasma abhängig ist von der Sauerstoffzufuhr, dass hierbei gleichzeitig Kohlensäure entsteht und Wärme entbunden wird, steht also völlig fest. — Was wollen wir noch mehr? — Sauerstoffaufnahme, — Kohlensäureabgabe, — Entstehung von Bewegung und Wärme: alle Charakteristika der Athmung und die Effekte derselben wie beim Thiere. Das Protoplasma ist wie der Muskel des Thieres ein contraktiler Körper, der wie dieser durch Oxydation zur Bewegung befähigt wird, mit dem einzigen sehr unwesentlichen Unterschiede, dass im letzteren Fall das sauerstoffreiche Blut anstatt des direkten Sauerstoffs (was übrigens für die Athmung des Protoplasma noch bezweifelt werden kann) die Oxydation der Substanz besorgt. Bewegung entsteht in beiden Fällen, wenn auch Bewegung von sehr verschiedenartigem Nutzen für die beiden Organismengruppen; ein Theil der Kraft, der durch die Verbrennung von organischer Substanz geliefert wird, geht hier wie dort direkt in Wärme über.

Liebig war es, der in Bezug auf die Pflanzenathmung, wie auf viele andere Dinge, einer vorgefassten Meinung huldigend, die Richtigkeit der einschlägigen Beobachtungen in Zweifel zog.**) Derselbe leugnete die Pflanzenathmung als einen Process, ohne den die Pflanze nicht bestehen könne, und suchte die nicht zu bestreitende Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe auf einen rein zufälligen Vorgang der Oxydation, wie er eben so gut in einem todten Stücke Holz als in der lebenden Pflanze sich vollziehe, zurückzuführen.

Es ist natürlich nicht zu bestreiten, dass ein Theil der von der Pflanze ausgehauchten Kohlensäure von solch' zufälligen Oxydationserscheinungen herrühren, auch von der Pflanze aus dem Boden aufgenommen sein kann; aber der Beweis, dass

---

*) Das Wasser, welches natürlich bei der Oxydation der organischen Substanz neben Kohlensäure entstehen muss, kann wegen des ohnehin schon grossen Wassergehalts aller lebenden Pflanzentheile natürlich nicht wahrgenommen werden.

**) Vergl. dessen Chemie in ihrer Anw. auf Agrik. u. Phy. 1862. I. p. 34.

dennoch ein für die Pflanze nothwendiger Athmungsprocess in dem von uns erläuterten Sinne besteht, liegt eben nicht in der einfachen Beobachtung eines derartigen Gasaustauschs, sondern in der Constatirung der Thatsache, dass die Pflanze nicht ohne freien Sauerstoff zu existiren vermag. Wir haben gezeigt, dass die Pflanze ebenso wie das Thier den Erstickungstod stirbt, wenn man sie vom Sauerstoff abschliesst; ja es ist sogar experimentell festgestellt worden, dass dieselbe in einem jeden beliebigen Gemische von Stickstoff und Kohlensäure (von denen doch einige für die Pflanze zuträglich sein müssten) unfehlbar nach einiger Zeit zu Grunde geht. — Es ist in der That nicht möglich einen schärferen Nachweis für den dargelegten Sachverhalt beizubringen.

Wir lassen also den Liebig'schen Einwurf unbekümmert bei Seite liegen, und constatiren die Existenz einer wahren Athmung der Pflanzen analog der des Thieres. Wir heben zugleich hervor, dass wir auf dem Wege sind, Sinn und Nutzen dieser Athmung kennen und verstehen zu lernen. Eine innige Beziehung dieses Gasaustauschs zu den in der vorigen Vorlesung behandelten Umwandlungsprocessen der organischen Substanzen in einander haben wir bereits dort angedeutet und werden noch einmal auf diesen Gegenstand zurückkommen müssen. — Eine andere Beziehung haben wir soeben kennen gelernt. Das Protoplasma ist ein contraktiler eiweissartiger*) Körper, der gerade wie der thierische Muskel in seiner Bewegung abhängig ist von einer in ihm stattfindenden Verbrennung, von einer Zuführung von Sauerstoff. Auf diese Art haben wir uns also auch die Bewegung der Schwärmsporen entstehend zu denken, und vielleicht ist der Bewegungsapparat der niedrigsten Thierformen auf ähnliche Weise eingerichtet, so dass wir es gleichsam in solchen Protoplasmasträngen unter Anderem mit dem ersten Anfang zu einer Organisation, wie wir sie beim höheren Thiere in dem zu so complicirten Funktionen befähigten Muskelapparat kennen, zu thun haben.

Auch diese Anschauung führt uns wieder zu einem Gesichtspunkte, zu dem wir noch öfters uns gedrängt sehen werden, dass die thierischen Funktionen,**) wenn auch in viel grösserer Einfachheit, sich in dem Pflanzenreiche wiederholen, während die wichtigen Vorgänge in der chlorophyllhaltigen Zelle den Pflanzen eigenthümlich und vom Thierreiche ausgeschlossen sind. So ist allein die chlorophyllhaltige Pflanze ein von allen anderen Organismen völlig unabhängiges Geschöpf, die die verschiedensten Funktionen in sich vollzieht, während das Thier, wegen seiner einseitigen Thätigkeit, unter allen Umständen die Existenz der grünen Pflanze voraussetzt. Man

---

*) Wie es mit der Feststellung dieser Eiweissnatur des Protoplasma steht, siehe die zehnte Vorlesung.

**) Schon Dumas und Boussingault sprechen in ihrer „Statique des êtres organisés" im Jahre 1841 aus, „qu'à certaines époques, dans certains organes la plante se fait annimal; „qu'elle devient comme l'animal, appareil de combustion; qu'elle brûle de carbone et de l'hy„drogène; qu'elle produit de la chaleur; que le sucre, ou l'amidon converti en sucre, sont les „matières premières au moyen desquelles elle développe cette chaleur." Vergl. Compt. rend. 1864. T. 58. p. 921; ohne freilich zu erkennen, dass ähnliche Processe fortwährend in der Pflanze unterhalten und nur von andern Vorgängen, die das Entgegengesetzte bewirken, verdeckt werden.

kann sogar sagen, dass das Thier nur einen Theil der Funktionen der grünen Pflanze, diese aber in ausserordentlich viel vollkommenerem Grade und auf eine sehr viel complicirtere Weise in sich zu vollziehen vermag: ein Satz, der nur auf den ersten Blick etwas paradox erscheint, in dem von uns erläuterten Sinne jedoch völlig berechtigt ist.

Ueber die eigentliche *Mechanik* der Protoplasmabewegungen sind schon mancherlei Theorien aufgestellt worden, welche indessen meistens nur Umschreibungen des Sachverhalts darstellten oder an innern Widersprüchen zu Grunde gegangen sind. Hofmeister*) gibt allein eine plausible Hypothese, welche uns wenigstens einer wirklichen Erklärung näher bringt. Derselbe glaubt durch *periodische Veränderungen der Imbibitionsfähigkeit für Wasser* die Strömungserscheinungen**) des Protoplasma erklären zu können.

Man wird vielleicht der Wahrheit noch näher kommen, wenn man mit Hofmeister diese Annahme macht und dabei die Veränderung der Imbibitionsfähigkeit des Protoplasma auf chemische Veränderungen desselben, eingeleitet durch den Sauerstoff, zurückführt. Wenn die organischen Substanzen, die in dem Protoplasma enthalten sind, einer Oxydation durch den atmosphärischen Sauerstoff leicht zugänglich wären, ***) so würde offenbar eine veränderte Imbibitionsfähigkeit des chemisch veränderten Protoplasma eine sehr natürliche Annahme sein. Dann wäre also nur noch erforderlich, dass eine solche Oxydation an gewissen Punkten des Protoplasma zuerst begänne (was eigentlich eine durchaus selbstverständliche Annahme ist,) um die Erscheinung der Protoplasmaströmung unserem Verständniss nahe gebracht zu sehen. — Vielleicht ist es auf diesem Wege noch einmal möglich, Licht in den noch etwas dunkeln Vorgang zu bringen.

Aus dem vorhin Gesagten geht hervor, dass namentlich auch die Wachsthumserscheinungen innig an gewisse Vorgänge im Protoplasma geknüpft sind, und da diese abhängig sind von einem Oxydationsvorgang, so werden wir auf eine nahe Beziehung der Sauerstoffaufnahme oder der Athmung zu solchen Wachsthumsvorgängen schliessen können.

Dergleichen Beziehungen sind nun auch in der That reichlich experimentell festgestellt worden. Bringt man z. B. keimungsfähigen Pflanzensamen in Wasser, das vorher durch Auskochen von Luft befreit ist, und verhindert den neuen Zutritt der atmosphärischen Gase, so tritt keine Keimung ein, und war der Same schon in Keimung begriffen, so bleibt derselbe in dem Zustande, in dem er sich gerade befindet, bis er schliesslich verdirbt.

Man hat zwar anfangs aus der Thatsache, dass Pflanzensamen unter Wasser keimen, den Schluss gezogen, dass dieselben zu diesem Processe des Sauerstoffs nicht bedürftig seien, ohne freilich zu bedenken, dass das Wasser, wenn man keine besondern Massregeln anwendet, stets sauerstoffhaltig ist, da es sich mit den atmosphärischen Gasen sättigt. War indessen der Sauerstoff völlig entfernt, und wird das

*) A. a. O. p. 63.

**) Dass sehr erhebliche dem Schwärmen bewimperter Sporen nicht unähnliche Bewegungen auf osmotische Strömungen zurückgeführt werden müssen, zeigt der hübsche Versuch Schumacher's (vergl. dessen Physik d. Pflanze 1867 p. 153).

***) Und die Vorgänge der Athmung zwingen uns, diesen Schluss zu machen.

Wasser so mit dem Samen in Stickgas gebracht, so trat unter keinen Umständen Keimung ein.*)

Ganz dasselbe gilt nun auch für alle andern im Wachsthum und in der Entfaltung begriffenen Pflanzentheile. — Man hat wiederholt mit dem gesunden Stengel noch in Verbindung stehende *Blumenknospen* vom Sauerstoff abgeschlossen sich selbst überlassen und ausnahmslos beobachtet, dass dieselben unter solchen Umständen auf der Entwickelungsstufe, auf der sie sich gerade befinden, verharren, ohne die Fähigkeit zu besitzen, sich weiter zu entfalten, bis sie schliesslich durch Fäulniss zu Grunde gehen.

Genau so verhielten sich auch *Blattknospen*, im Begriffe aufzubrechen; — und es war hierbei gleichgültig, ob sie vom Lichte getroffen wurden oder nicht, da junge Knospen, obschon grünlich gefärbt, noch nicht die Fähigkeit, sich selbst den Sauerstoff durch die Produktionsthätigkeit zu erzeugen, besitzen.

In gleicher Weise sind die allbekannten gemeinen Schimmelarten in ihrer Entwickelung vom Sauerstoff abhängig; dieselben hören auf zu wachsen, wenn man sie (die übrigen Verhältnisse ungeändert) in einen Behälter mit Stickgas bringt.

Eine Ausnahme, wenn auch in einem gewissen Sinne nur eine scheinbare, von dieser allgemeinen Regel machen jedoch manche *Gährungspilze*, z. B. der gewöhnliche *Hefepilz*. Derselbe ist fähig sich in einer Zuckerlösung normal zu entwickeln, die wohl eine Reihe von andern Stoffen enthalten muss, vom ungebundenen Sauerstoff aber völlig befreit sein kann. Diese Ausnahme ist jedoch desshalb vielleicht nur für eine scheinbare anzusehen, weil auch der gewöhnliche Hefepilz in seinem Innern einen Process unterhält, bei dem gerade wie bei einer wahren Oxydation *chemische Spannkräfte verloren***) *gehen und Wärme frei wird.****) Die durch die alkoholische Gährung gebildeten organischen Substanzen haben in ihrer Gesammtheit eine geringere Verbrennungswärme als der Zucker, aus dem sie entstanden sind. Man kann also mit Berücksichtigung dahin gehöriger Fälle das ganz allgemein gültige Gesetz aussprechen, *dass allen lebenden und vegetirenden Pflanzenzellen die Unterhaltung eines Processes, bei dem chemische Spannkräfte verloren gehen*, der also gerade das Umgekehrte ist von einer chemischen Arbeit, eigenthümlich ist.

De Saussure hat nun auch das Verhalten der *grünen* Pflanze in Hinsicht auf ihren Sauerstoffbedarf geprüft. Es konnte natürlich nicht geschehen, während der der Athmung entgegengesetzte Process der Reduktion und Sauerstoffentbindung

---

*) Dass Keimung ohne atmosphärische Luft nicht vor sich gehen kann, wurde schon in sehr früher Zeit erkannt. Vergl. Heiden: Düngerlehre I, p. 142.

**) Vergl. Jahresber. d. Chemie XVIII p. 602.

***) Wenn man will, kann man sich auch in Bezug auf diesen Gegenstand der zuerst von Pasteur ausgesprochenen Auffassung bedienen, welche dahin geht, dass auch der Hefepilz sauerstoffbedürftig sei, aber dieses Bedürfniss auch auf Kosten des sauerstoffhaltigen Zuckers befriedigen könne und gerade hierdurch Veranlassung zur Reduktion dieses Zuckers zu Alkohol gebe, während durch den aufgenommenen Sauerstoff andererseits von dem Pilze assimilirter Zucker zu Kohlensäure und Wasser oxydirt werde. Das Resultat ist offenbar dasselbe; die Auffassung erscheint aber trotz der auf dieselbe begründeten Gährungstheorie einigermassen künstlich und durch den experimentellen Nachweis nicht berechtigt.

vor sich ging, denn dieser musste jenen andern vollständig verdecken. Dass nun in der Dunkelheit, wo der Reduktionsprocess in den Hintergrund trat, Oxydationserscheinungen auch an den grünen Pflanzentheilen vor sich gingen, war schon lange vor de Saussure durch Jngen-Housz bekannt.

Allein hiermit begnügte sich de Saussure keineswegs; er unternahm es, grüne Pflanzen auch *im Lichte* auf ihr Sauerstoffbedürfniss zu prüfen. — Wir fragen, wie war das möglich, da doch die grüne Pflanze im Lichte stets Sauerstoff producirt, also unter diesen Umständen kein Abschluss von Sauerstoff erreicht werden konnte? — Die scheinbar unüberwindliche Schwierigkeit wusste jedoch der genannte grosse Physilologe auf eine sehr einfache und sinnreiche Weise zu umgehen.*)

Wenn eine grüne lebensfrische Pflanze in einer Atmosphäre von reinem Stickstoff dem Lichte ausgesetzt wird, so wird sie die in ihrem Gewebe vorhandene Kohlensäure unter Ausscheidung von einer entsprechend kleinen Menge von Sauerstoff zersetzen. Durch die Athmung der Pflanze, die namentlich bei Nacht, bei Lichtabschluss in den Vordergrund treten muss, wird nun umgekehrt wieder dieser Sauerstoff consumirt und Kohlensäure dafür ausgegeben. In dieser Abgeschlossenheit ist also der eine Process ganz und gar von dem Stattfinden des andern bedingt. — Die Pflanze kann fortdauernd organische Substanz produciren, trotzdem aber natürlich nicht an Gewicht zunehmen, weil sie nur auf Kosten derjenigen Kohlensäure,**) die durch ihre eigene Athmung erzeugt wird, die Produktion von organischer Substanz vollziehen kann, also gleichsam von ihrem eigenen Fleisch und Blute lebt. — Umgekehrt kann der Athmungsprocess nur dauernd erhalten werden, da fortwährend Sauerstoff durch die Produktionsthätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle erzeugt wird. Eine Pflanze kann längere Zeit in diesem Zustand verharren.

Der sinnreiche de Saussure'sche Versuch bestand nun darin, dass er einer solchen Pflanze entweder durch feuchte Eisenfeilspäne (oder Schwefel) den freien Sauerstoff, oder auch durch kaustischen Kalk die Kohlensäure entzog. Im ersteren Falle war kein die Athmung unterstützendes Gas vorhanden und wenn die Pflanze aus der noch vorhandenen Kohlensäure etwas Sauerstoff durch die Produktionsthätigkeit erzeugte, so wurde dieser durch die leicht oxydirbaren Materien rasch hinweggenommen. War die Unterhaltung der Athmung auch im Lichte unentbehrlich, so musste die Pflanze unter solchen Umständen rasch zu Grunde gehen. — In der That lehrte dies der de Saussure'sche Versuch. Im zweiten wurde durch kaustischen Kalk direkt alle in den Geweben noch enthaltene Kohlensäure nach und nach der Pflanze entzogen und auf diese Weise die Produktionsthätigkeit und damit die Sauerstoffproduktion durch die chlorophyllhaltige Zelle unmöglich gemacht. Auch in diesem Falle trat nach kurzer Zeit der Tod der Pflanze ein und derselbe konnte auch jetzt nur auf die unausgesetzte Unentbehrlichkeit des Athmungsprocesses auch der chlorophyllhaltigen Organe gedeutet werden, da die Aufhebung des Produktionsprocesses bekanntermassen sehr lange Zeit von der grünen Pflanze ohne Nachtheil ertragen wird.

---

*) Vergl. J. Sachs: Handbuch etc. p. 267.

**) Das Wasser können wir als Verbrennungsmaterial wie als Verbrennungsprodukt bei allen diesen Betrachtungen vernachlässigen.

Die allgemeine Nothwendigkeit der Erhaltung eines Oxydationsprocesses für ein jedes in vegetativer Thätigkeit befindliche Pflanzenorgan wird durch die beschriebenen Versuche in unzweideutiger Weise bestätigt, und wir müssen diesen das Zugeständniss machen, dass sie nicht anschaulicher und unmittelbarer beweisend hätten ausgeführt werden können und können gewiss de Saussure, der schon in früher Zeit diese Experimente anstellte, unsere Bewunderung nicht versagen.

Es braucht nun dem über Pflanzenathmung Gesagten kaum hinzugefügt zu werden, dass zu diesem Vorgange noch eine Reihe von andern Bedingungen erforderlich sind, als die Anwesenheit von Sauerstoff. Zunächst ist jener elementare Vorgang, die Protoplasmabewegung noch an verschiedene Umstände geknüpft, die hier nicht ganz übergangen werden dürfen.

Eine gewisse Temperatur ist in engern oder weitern Grenzen zu einer jeden physiologischen Funktion erforderlich, und so ist auch die Protoplasmabewegung von Temperaturverhältnissen abhängig. Ein Pflanzentheil, der im Innern seiner Zellen Protoplasmaströmung zeigen soll, muss sich nothwendig innerhalb zweier Temperaturgrenzen befinden, und innerhalb dieser Temperaturgrenzen (welche übrigens für verschiedenartige Pflanzen verschieden sind) ist die Intensität der Strömung von der Höhe der Temperatur bedingt. Das Ueberschreiten jener Temperaturgrenzen bringt zunächst nur eine Unbeweglichkeit oder Starre (Kälte- oder Wärmestarre) des Protoplasma hervor, und die Strömung kann, wird der Pflanzentheil noch zu rechter Zeit auf die günstigere Temperatur zurückgeführt, nach einiger Zeit von Neuem beginnen. Erst ein weiteres Ueberschreiten jener Temperaturgrenzen oder ein längeres Verweilen jenseits derselben hat die vollkommene Desorganisation des Protoplasma, den Tod des betreffenden Pflanzentheils zur Folge; die Strömung ist alsdann auch bei Zurückführung auf die alten Temperaturverhältnisse für alle Zeit erloschen. — Die Schnelligkeit der Protoplasmaströmung steigt innerhalb der Grenztemperaturen mit der Höhe der Temperatur; doch scheinen für höhere Temperaturgewächse kleinere Beschleunigungen der Strömungsintensitäten zu erfolgen. *)

Vom *Lichte* **) ist die Bewegung des Protoplasma vollkommen unabhängig.

Elektrische Entladungen (mehr die Stromschwankungen als die Stromintensitäten), *mechanische Verletzungen* der Zelle, *chemische Einwirkungen* der verschiedensten Art, wie auch *Temperaturschwankungen* haben theils vorübergehende Störungen, theils wirkliche bleibende Aufhebungen der Protoplasmabewegungen zur Folge, auf die wir hier nicht weiter einzugehen beabsichtigen.

Wie der Elementarvorgang, der zur Athmung in einer innigen Beziehung steht, die Protoplasmabewegung, so sind auch alle complicirteren Vegetationserscheinungen, für welche die gleiche Beziehung besteht, von einer Reihe von andern Bedingungen ausser der Sauerstoffzufuhr abhängig. So finden Keimungs- und Wachsthums-Vorgänge auch nur innerhalb gewisser Temperaturen statt, und Dasselbe gilt ja bekanntlich für die Gesammtheit aller physiologischen Vorgänge. — Auch die Abhän-

*) Ueber die Abhängigkeit dieser und anderer Vegetationsvorgänge von Wärmeverhältnissen vergl. die 22. Vorlesung.

**) Vergl. Hofmeister: A. a. O. p. 49.

gigkeit dieser complicirteren Erscheinungen von einer jeden jener anderen Bedingungen ist zur Genüge constatirt.

Wir haben uns in den bisherigen Ausführungen damit begnügt, Athmung als eine Oxydationserscheinung, welche Kohlensäureaustritt zur Folge hat, zu bezeichnen. Damit ist indessen der nähere Chemismus der Athmung durchaus nicht hinreichend charakterisirt. Es wird, um diesen verstehen zu lernen, absolut unerlässlich sein, den Gasaustausch zwischen Sauerstoff und Kohlensäure näher in's Auge zu fassen, *die relativen Mengen* des aufgenommenen *Sauerstoffs* und der ausgegebenen *Kohlensäure* zu bestimmen und *gleichzeitig die chemischen Veränderungen* des die Athmung unterhaltenden *Organs* zu beobachten.

Man darf sich nemlich nicht denken, dass für je ein Volumen Sauerstoff bei jedem Athmungsvorgang je ein Volumen Kohlensäure ausgegeben werde. Dies ist bekanntlich auch bei der thierischen Athmung nicht der Fall und aus gewissen Andeutungen der letzten Vorlesung konnte entnommen werden, dass dies auch bei der pflanzlichen Athmung nicht allgemein zutreffen kann.

In der That entspricht bei den Pflanzen das ausgegebene Kohlensäurevolumen häufig nicht genau dem aufgenommenen Sauerstoffvolumen. Manchmal werden verhältnissmässig sehr grosse Mengen von Sauerstoff aufgenommen, sehr kleine Mengen von Kohlensäure ausgegeben; in manchen Fällen auch umgekehrt. So nimmt z. B. mit der Dauer der Keimung, im Verhältniss zum aufgenommenen Sauerstoff, die Menge der ausgehauchten Kohlensäure mehr und mehr zu. Ebenso soll dieselbe relativ gross werden, wenn man die Keimung in reinem Sauerstoff vor sich gehen lässt; und bei verschiedenen Samen und Keimpflanzen sind die relativen Mengen beider Gase sehr verschieden.

Es handelt sich offenbar darum, den *Sinn* des in jedem einzelnen Fall über den andern hervorragenden Processes zu verstehen und damit den Chemismus der betreffenden Athmungserscheinungen kennen zu lernen. — In einzelnen Fällen gelingt Dies auch unmittelbar.

Die Erfahrung lehrt, dass fettreiche Samen bei der Keimung im Verhältniss zur auftretenden Kohlensäure viel Sauerstoff brauchen, während stärkemehlreiche im Durchschnitt dem Volum*) nach ungefähr eben so viel Kohlensäure abgeben, als Sauerstoff aufnehmen. — Man kann Dies leicht anschaulich machen, wenn man Samen in Wasser und mit einem gewissen Volumen Luft über Quecksilber keimen lässt. Die Volumverminderung der abgesperrten Luft ist bei solchen Versuchen, wenn fettreiche Samen genommen werden, sehr beträchtlich, wenn fettarme dazu dienen, unbedeutend.

Wir brauchen uns in der That nur zu überlegen, was bei der Keimung solcher Samen vor sich geht, um zu verstehen, warum dies nicht anders sein kann. — Bei der Keimung fetthaltiger Samen wird das Fett in Kohlehydrate übergeführt oder auch völlig verbrannt; in beiden Fällen wird eine beträchtliche Menge Sauerstoff verbraucht, ohne dass ein entsprechendes Quantum Kohlensäure für denselben auf-

*) Die Rechnung mit Volumina bietet beim Vergleich von Sauerstoff und Kohlensäure den erheblichen Vortheil dar, dass in einem Volum Kohlensäure genau dieselbe Gewichtsmenge Sauerstoff vorhanden ist, wie in einem Volum Sauerstoff.

treten kann, da wir uns einen Theil desselben als zur Oxydation des Wasserstoffs verbraucht denken müssen.

Wenn dagegen bei einem Keimungsprocesse wesentlich nur Kohlehydrate verbrennen, so wird (so kann man sich es zweckmässiger Weise vorstellen) kein Sauerstoff zur Oxydation des Wasserstoffs in Anspruch genommen zu werden brauchen, er wird — wenn wir von der Bildung untergeordneter Mengen von Pflanzensäuren absehen — nur zur Bildung von Kohlensäure verwandt; und die Folge davon ist, dass ein gleiches Volum Kohlensäure austreten muss.

Aus demselben Gesichtspunkte erklärt sich auch, dass im Anfang der Keimung fetthaltiger Samen sich verhältnissmässig geringe Mengen von Kohlensäure für den aufgenommenen Sauerstoff bilden, weil eben im Anfange die reducirteren organischen Stoffe, die Fette in Angriff genommen werden und erst nach deren Ueberführung in Kohlehydrate*) eine Verbrennung dieser in grossem Massstab beginnt.

Ueber die Methoden, nach welchen man dergleichen Versuche über die Keimung, den leichtest zu studirenden Athmungsvorgang der höheren Pflanze, vornimmt, wobei der Gasaustausch und die mit diesem in Verbindung stehende chemische Veränderung für die junge Keimpflanze bestimmt werden soll, will ich hier einige kurze Mittheilungen machen. Dieselben werden uns nur auf einen scheinbaren Abweg führen.

Entweder lässt man — und davon haben wir schon gesprochen — den ganzen Versuch in einem abgeschlossenen Luftvolum vor sich gehen, das selbstverständlich eine für den Verbrauch an Sauerstoff während der Keimung mehr als ausreichende Menge dieses Elementes enthalten muss, und unterwirft das nach Beschluss des Versuchs verbleibende Gasgemenge einer eudiometrischen Untersuchung. Der Abschluss kann geradezu durch Quecksilber geschehen, gegen dessen Ausdünstungen die jungen Keimlinge weit unempfindlicher**) sind als man denken sollte. Auch für eine bestimmte Zusammensetzung der Luft braucht man (ausser wenn man den Einfluss dieses Faktors zu berücksichtigen wünscht) nicht allzu ängstlich Sorge zu tragen, da von dem keimenden Samen — im Gegensatze zu der schon entwickelten Pflanze — reiner Sauerstoff leicht ertragen, ja vielleicht einem Sauerstoff-ärmeren Gemisch vorgezogen wird.

Verzichtet man auf die Bestimmung des verbrauchten Sauerstoffs und bestimmt von Gasen allein die ausgeschiedene Kohlensäure, so kann ein nach sehr einfachen Principien construirter Apparat, durch den vorher von Kohlensäure befreite atmosphärische Luft hindurch gesaugt und wobei die durch Keimung erzeugte Kohlensäure in Barytwasser aufgefangen und bestimmt wird, dienen. Der von J. Sachs beschriebene und gezeichnete Apparat***) mag als eine der vielen denkbaren Modificationen dienen.

*) Ich erinnere an die Resultate der in der letzten Vorlesung angeführten Versuche von Peters über die Keimung von Kürbissamen.

**) Kann man doch selbst Samen auf Quecksilber so keimen lassen, dass die junge Wurzel in das flüssige Metall eindringt, und der Keimling sich eine Weile lang ziemlich normal entwickelt.

***) Siehe dessen Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 271.

Auf diesem letzteren Wege ist es nun weit eher möglich, eine normale Keimung der Samen bis in höhere Keimungsstadien (weil unter diesen Umständen ganz normale Wachsthumsverhältnisse hergestellt werden können) zu veranlassen; und man kann dann auch leicht, neben der Kohlensäureproduktion der Keimlinge, deren Gesammtgewichtsänderung, Trockengewichtsverlust, deren Verlust oder Gewinn an einzelnen organischen Bestandtheilen etc. feststellen.

Diese verschiedenen Methoden sind nun aber in Bezug auf den Aufschluss, den sie über den ganzen Vorgang zu geben vermögen, einander sehr ungleichwerthig. Wir sind hiermit zu dem Punkte gelangt, auf den wir abgezielt haben. — Durch die Beobachtung des einfachen Gasaustauschs lässt sich der Chemismus der Athmung *unmöglich* ergründen, da eine jede Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausgabe mehrere Deutungen zulässt. Es ist neben dieser Beobachtung des Gasaustauschs wenigstens noch die Bestimmung der Trockensubstanz oder statt dieser drei Bestimmungen, die Ermittelung der Elementarzusammensetzung des athmenden Organs vor und nach der Athmungserscheinung, die man einer Untersuchung zu unterwerfen beabsichtigt, nothwendig, um angeben zu können, was in dem Organ vor sich gegangen ist. Nur bei Organen, für deren Athmungserscheinung derartige Methoden angewendet worden sind, oder angewendet werden können, ist es möglich, dem Chemismus auf die Spur zu kommen. *Drei Gleichungen* müssen gegeben sein, um die *drei Unbekannten, die Kohlenstoff-*, *Wasserstoff-* und *Sauerstoff*-Gehaltsveränderung berechnen zu können. Diesem Postulat kann am Besten bei der *Keimung* genügt werden, und desshalb haben wir hier schon einen Blick geworfen auf die Methoden, die in der von uns besprochenen Richtung bei der Keimung Anwendung gefunden haben.

Wenn wir die möglichen chemischen Reaktionen, welche die verschiedenen Athmungserscheinungen zusammensetzen können, in's Auge fassen, so lassen sich für diese verschiedenen (Oxydations-) Processe folgende Gesichtspunkte aufstellen, die ich festzuhalten bitte. Dieselben gelten für den Chemismus jeder Oxydationserscheinung in der Pflanzenwelt.

1) Wird ein *Kohlehydrat vollständig* bei einem derartigen Processe verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs *gleich* der in der ausgegebenen Kohlensäure enthaltenen. — Der Oxydationsprocess findet *ohne Volumveränderung* der umgebenden Atmosphäre statt. — Der Gewichtsverlust des Organs an Trockensubstanz ist grösser als das Gewicht des in der ausgegebenen Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoffs und zwar um eine der Zusammensetzung des verbrannten Kohlehydrats entsprechende Menge Wassers.

2) Wird ein *höher oxydirter Körper* (von der Zusammensetzung der Wein- oder Aepfelsäure) *vollständig* verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs kleiner, als die in der ausgegebenen Kohlensäure enthaltene. — Der Oxydationsprocess findet unter *Volumvermehrung* der umgebenden Atmosphäre statt. — Der Gewichtsverlust des Organs kann nicht durch Kohlenstoff- und Wasser-Abgabe völlig erklärt werden.

3) Wird ein *Fett vollständig* verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs *grösser*, als die in der ausgegebenen Kohlensäure enthaltene. — Der Oxydationsprocess findet unter *Volumverminderung* der umgebenden Atmosphäre

statt. — Der Gewichtsverlust des Organs ist grösser als das Gewicht des in der abgegebenen Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoffs. Der Rest ist vorwiegend Wasserstoff und verhältnissmässig sehr gering.

4) Wird ein *Kohlehydrat unvollständig* verbrannt, d. h. zu einer dem Organe verbleibenden organischen Verbindung oxydirt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs von einer gewissen Grösse, — die der ausgegebenen Kohlensäure *gleich Null*. — Der Oxydationsprocess findet unter *Volumverminderung* der umgebenden Atmosphäre statt; derselbe besteht in einer reinen Absorption von Sauerstoff. — Es tritt Gewichtsvermehrung des Organs ein, die genau der Menge des aufgenommenen Sauerstoffs entspricht.

5) Wird endlich ein *Fett unvollständig* verbrannt, zu einem Kohlehydrat oder zu einer Pflanzensäure oxydirt, so findet dasselbe, nur in verstärktem Massstabe statt. —

Durch Combination dieser fünf möglichen Fälle entstehen nun die verschiedenen sehr complicirten Vorgänge, auf die sich unsere Beobachtungen über Oxydationserscheinungen ausdehnen.

Weiter sind aber noch die Spaltungsvorgänge irgend eines organischen Körpers in einen von geringerem Sauerstoffgehalt und in Kohlensäure (analog dem Vorgang bei der alkoholischen Gährung) zu berücksichtigen, die, wie aus der vorigen Vorlesung hervorgeht, auch in der höheren Pflanze mit Wahrscheinlichkeit eine Rolle spielen werden.

6) Bei derartigen Spaltungsvorgängen ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs *gleich Null*, — die der ausgegebenen Kohlensäure von einer gewissen Grösse. — Der Process findet unter *Volumvermehrung* der umgebenden Atmosphäre statt; derselbe besteht einfach in einer reinen Kohlensäureentwickelung. — Es tritt eine Gewichtsverminderung des Organs ein, die genau der ausgegebenen Kohlensäure entspricht. *)

Hiermit sind nun aber die möglichen Einzelprocesse, welche die Erscheinungen, die in das Gebiet der Athmung gehören, zusammensetzen, und die sämmtlich mit Verlust an chemischer Spannkraft verbunden sind, völlig erschöpft. Man sieht, welche mannigfaltigen Combinationen möglich sind, und wie schwierig es sein muss, irgend einen Vorgang in der Natur, der sich aus jenen Processen zusammensetzt, richtig zu interpretiren. Die blosse Beobachtung des Gasaustauschs kann hierzu unmöglich genügen; — so lässt z. B. eine die Kohlensäureausgabe überwiegende Sauerstoffaufnahme die doppelte Deutung zu, der vollständigen Verbrennung eines sauerstoffarmen und der theilweise unvollständigen Verbrennung eines sauerstoffreicheren Körpers — eine überwiegende Kohlesäureausgabe die beiden Deutungen der vollständigen Verbrennung eines sauerstoffreichen und des gemischten Vorgangs der vollständigen Verbrennung eines sauerstoffärmeren Körpers und der Spaltung eines Körpers in Kohlensäure und einen reducirteren. Um in diesen Fällen zu entscheiden, ist die gleichzeitige Feststellung der Trockensubstanzen vor und nach dem

*) Aus diesen möglichen Variationen kann zugleich mit grosser Deutlichkeit ersehen werden, dass Gewichtszunahme an Trockensubstanz der Theorie nach nicht streng mit dem Reduktionsprocess Hand in Hand zu gehen braucht; vergl. 3. Vorlesung.

Versuch nothwendig. Dasselbe leistet natürlich die zweimalige Elementaranalyse, und ist in diesem Falle die Beobachtung des Gasaustauschs entbehrlich.

Wir haben somit festgestellt, welche Bestimmungen ganz unerlässlich sind, um den bei der Athmung stattfindenden Chemismus in soweit feststellen zu können, dass man angeben kann, welche Klasse von chemischen Verbindungen eine Oxydation erfahren haben u. s. w.

Versuche, *die diesem Postulate Genüge leisten*, liegen aus leicht fasslichen Ursachen nur für den Process der Keimung vor und in Bezug auf die bei diesem Processe stattfindenden chemischen Veränderungen sind wir wenigstens im Stande, Einiges anzugeben. Durch Untersuchungen, bei denen neben dem Gasaustausch die Veränderungen der Trockensubstanz analytisch festgestellt wurden, hat man gefunden, dass bei der Keimung weit grössere Verluste an Trockensubstanz stattfinden, als sich durch den Kohlenstoffverlust erklären lässt, dass mit anderen Worten auch neben dem Kohlenstoff Wasser aus den organischen Verbindungen des keimenden Samens austritt; ein Sachverhalt, der sich aus dem Zerfall organischer Verbindungen, die Wasserstoff und Sauerstoff enthielten, ganz von selbst erklärt.

Dass bei der Keimung verschiedener Samen die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs zu der der ausgeathmeten Kohlensäure in ganz verschiedenen Verhältnissen steht und dass bei der Keimung eines und desselben Samens mit der Dauer der Keimung dieses Verhältniss ein anderes wird, haben wir schon vorhin angeführt und die Thatsachen zu deuten versucht. Bei der Keimung spielt im Gegensatz zu andern Athmungserscheinungen die *Stoffumwandlung* eine grosse Rolle. Es gehen dabei die im Samen enthaltenen Fette grossentheils in Kohlehydrate über, es treten Gerbsäuren *) und andere Pflanzensäuren **) auf, und es finden noch ausserdem eine Reihe weniger tief eingreifende Reaktionen statt: welche Vorgänge alle den Gasaustausch zu gleichen Volumina stören müssen. ***)

Es ist dieses Verhalten bei dem Keimungsprocesse †), das, wie wir gleich erkennen werden, durchaus abweichend erscheint von dem Gasaustausch der anderen bekannten Athmungserscheinungen, gewiss noch eines eingehenderen Studiums bedürftig, wobei die Einhaltung der Methode, die wir zur völligen Aufklärung der

*) J. Sachs: Handbuch d. Exper. Physiol. d. Pfl. p. 285.

**) Siehe z. B. Heiden: Lehrbuch der Düngerlehre. I. p. 145.

***) Wir unterlassen es, weitere u. eingehendere Mittheilungen über die chemischen Vorgänge bei der Keimung auf Grund des vorhandenen Versuchsmaterials zu machen, weil dieses manches Widersprechende in sich birgt. So stehen hier die Schlüsse, die Boussingault seiner Zeit aus den von ihm an Klee und Weizen nach der durchaus zuverlässigen Methode (siehe übrigens die Bemerkungen von M. Schulz: J. f. pr. Ch. B. 87. p. 136) der Elementaranalyse gemachten Versuchen zog (die Landwirthschaft i. ihr Bez. etc. deutsch 1844. B. I. p. 26—29), im Widerspruch mit der wiederholt gemachten Angabe (vergl. Sachs a. a. O. p. 269), dass im Anfange der Keimung mehr Sauerstoff aufgenommen als Kohlensäure ausgegeben werde.

†) Nach einigen vorliegenden Untersuchungen scheint sogar Wasserstoff und Stickstoff bei der Keimung ausgegeben zu werden. (Vergl. M. Schulz: J. f. pr. Ch. B. 87. p. 129 bis 173); Thatsachen, die ihrer Nebensächlichkeit wegen bei Seite liegen gelassen werden können.

chemischen Veränderungen bei der Keimung als unentbehrlich bezeichnet haben, und die für den Keimungsprocess gar keine Schwierigkeiten bietet, anzuempfehlen wäre, anstatt, wie dies noch meistens geschieht, einfach die Bestimmung des Gasaustauschs, oder der Kohlensäureverminderung und der Trockensubstanz allein vorzunehmen. Ich brauche nicht mehr zu wiederholen, dass man auf dem letztern Wege höchstens zwei Gleichungen in die Hände bekommt und doch nothwendig deren drei bedarf, um die drei vorhandenen Unbekannten zu bestimmen.*)

Ausser den besprochenen Versuchen über Keimung liegen ferner Versuche über den Chemismus anderer intensiver Athmungsvorgänge vor. Doch konnte bei derartigen Versuchen in der Regel nur der Gasaustausch, nicht die Verminderung und Vermehrung von Trockensubstanz und der einzelnen Elementarbestandtheile der organischen Substanz festgestellt werden, da man es meistens mit den Vegetationsvorgängen einzelner Organe, die untrennbar vom ganzen Organismus sind, zu thun hat.

So ist von de Saussure**) die Sauerstoffaufnahme ganzer grünbelaubter Pflanzen im Dunkeln, wo also der der Athmung entgegengesetzte Process der Produktion von organischer Substanz nicht stattfinden konnte, untersucht und auf diese Weise gezeigt worden, dass Pflanzen mit jungen Blättern durchgängig auf die Volumeinheit des Blatts mehr Sauerstoff aufnehmen als solche mit alten Blättern.

Von Versuchen, die nach der vollständigen Methode (Elementaranalyse vor und nach dem zu beobachtenden Stoffaustausch) angestellt werden konnten, sind hier wieder solche von Boussingault***) zu erwähnen, der Pflanzen sehr verschiedener Art weit über das Keimungsstadium hinaus im Dunkeln verweilen liess, also die Athmung der ganzen etiolirten Pflanze einer Untersuchung unterwarf. Es sind dies also Versuche, die als eine Fortsetzung derjenigen, die von demselben Forscher über Keimung) angestellt worden sind, betrachtet werden können. Als Resultat dieser Versuche mit Erbsen, Weizen und Bohnen kann angesehen werden, dass der Substanzverlust bei dieser länger dauernden Periode ziemlich genau auf das Stattfinden einer vollständigen Verbrennung eines Kohlehydrats gesetzt werden kann, während bei dem ersten Keimungsstadium jedenfalls complicirtere Verhältnisse obwalten.

Von diesen Versuchen will ich nur den einen von Boussingault an einer Bohne angestellten hier anführen, die im Dunkeln, nach 4 Wochen zu einer bleichsüchtigen Pflanze erwachsen, ungefähr folgende Gewichtsverluste zeigte:

	Trockengewicht.	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.
Same	0,926 Gr.	0,408 Gr.	0,056 Gr.	0,375 Gr.
Pflanze	0,566 „	0,248 „	0,033 „	0,198 „
Differenz	— 0,360 Gr.	— 0,160 Gr.	— 0,023 Gr.	— 0,177 Gr.

Das Ebengesagte ist hier klar ersichtlich, indem der Verlust an Wasserstoff und Sauerstoff nahezu in dem Verhältniss steht, in dem sie Wasser bilden.

Eine andere Bohne von fast demselben Samengewicht ergab in derselben Zeit am Lichte erzogen:

*) Den genausten Aufschluss gewähren natürlich vergleichende Detail-Analysen, wie ich nicht besonders hervorzuheben brauche.

**) Die betreffenden Zahlenangaben bei Heiden, Lehrb. d. Düngerlehre. B. I. p. 148.

***) Journal f. pr. Ch. B. 93. p. 1 u. Compt. rend. B. 58. p. 883 etc.

	Trockengewicht.	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.
Same	0,922 Gr.	0,406 Gr.	0,056 Gr.	0,373 Gr.
Pflanze	1,293 „	0,599 „	0,076 „	0,532 „
Differenz	+ 0,371 Gr.	+ 0,193 Gr.	+ 0,020 Gr.	+ 0,159 Gr.

woraus der Einfluss der Thätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle im Licht, die den Effekt des Athmungsvorgangs schon in diesem Vegetationsstadium verdeckt, deutlich ersichtlich ist.

Die übrigen zahlreich vorhandenen Angaben über den Stoffwechsel bei der Athmung verschiedener Pflanzen und Pflanzentheile beziehen sich alle lediglich auf den Gasaustausch, und desshalb ist, nach den vorhin gegebenen allgemeinen Erläuterungen, der Sinn dieses Gasaustauschs nicht klar zu deuten. Obwohl aus diesem Grunde die so untersuchten Processe in ihrer Wesenheit noch keinen vollständigen Aufschluss erfahren haben, sollen doch die Resultate dahin gerichteter Untersuchungen in Kürze mitgetheilt werden.

Grosse und kleine Pilze *) berauben, nach einer Anzahl vorliegender Versuche, mit grosser Raschheit ein sie umgebendes Luftvolum seines Sauerstoffgehalts **), diesen durch ein fast genau gleiches Volum Kohlensäure ersetzend, — ein Verhalten, das mit ziemlicher Sicherheit auf vollständige Verbrennung eines im Protoplasma der Zellen vorhandenen Kohlehydrats schliessen lässt.

Ganz dasselbe Resultat gaben die Untersuchungen, die über den Gasaustausch von chlorophylllosen Phanerogamen ***) wie: Orobanche Teucrii, Neottia nidus avis, Lathraea squamaria angestellt worden sind. Auch bei diesen Pflanzen lässt die nahezu gleiche Grösse der Volumina †) des aufgenommenen Sauerstoffs und der ausgegebenen Kohlensäure auf die Erhaltung der Athmung auf Kosten eines Kohlehydrats schliessen. Blüthen tragende Zweige zeichneten sich ganz besonders durch die Grösse des Gasaustauschs, also die Intensität des von ihnen unterhaltenen Verbrennungsprocesses aus.

Dann ist hier noch aufmerksam zu machen auf die Resultate der Untersuchungen über den Gasaustausch der einzelnen chlorophyllfreien Organe der höheren grünen Pflanzen. Die Athmung der Wurzeln soll unter Volumverminderung der umgebenden Luft stattfinden, doch gelingt es nach kurzer Zeit das Aufhören einer weiteren Volumverminderung nachzuweisen, so dass jene erste Verminderung vielleicht auf eine Ab-

*) Auch einige Athmungserscheinungen chlorophyllloser Pflanzen sollen hier Berücksichtigung finden, da dieser Process in den genannten Organismen vollständig analog verläuft, wie in den chlorophyllhaltigen Pflanzen.

**) Vergl. J. Sachs: Handbuch d. Exp. Phys. d. Pfl. p. 273—74.

***) Lory: Annal. d. scienc. nat. 1847. T. 8. p. 158.

†) Doch ist gerade in diesem Falle der Nachweis geführt worden, dass von der athmenden Pflanze nicht unbedeutende Mengen von Kohlensäure ausgegeben wurden, ohne dass derselben Sauerstoff zur Verfügung gestellt wurde, und analoge Beobachtungen liegen für andere Pflanzen und Organe vor, so dass doch an eine zeitweilige Unabhängigkeit der Ausgabe von Kohlensäure von der Aufnahme von Sauerstoff gedacht werden muss. Es kann dies erklärt werden durch einen selbständigen Spaltungsprocess des Kohlehydrats und Oxydation des sauerstoffarmen Spaltungsproduktes. Das Gesammtresultat beider Processe wäre dann doch die einfache Verbrennung des Kohlehydrates.

sorption der gebildeten Kohlensäure im Zellsaft der Wurzel zurückzuführen ist. Hierauf deuten auch andere zu diesem Zweck angestellte Beobachtungen hin.

Sehr energische Athmungserscheinungen zeigen die Blüthen und besonders die eigentlichen Geschlechtsorgane, die als der Sitz der energischsten Lebenserscheinungen in der Pflanze zu betrachten sind; aber auch hier herrscht nach den vorliegenden Angaben grosse Gleichheit zwischen den eingeathmeten und ausgegebenen Gasmengen.

Aehnliche Beobachtungen*) wurden schliesslich auch für reifende Früchte (Aepfel, Orangen etc.) gemacht, die gleichfalls einen Athmungsprocess unterhalten, der ohne Volumänderung der umgebenden Atmosphäre vor sich geht.

Man kann also auf Grund dieser vielen Untersuchungen über die Athmung der verschiedensten Pflanzentheile aussprechen, dass mit Ausnahme des Keimlings, der sich jedenfalls abweichend verhält, namentlich wenn er auf Kosten eines mit Fetten gefüllten Reservestoffbehälters zehrt, alle diese verschiedenen Pflanzen und Pflanzentheile fast genau die gleiche Menge Sauerstoff in der Kohlensäure ausgeben, als sie in freiem Zustand aufgenommen haben. Aus dieser Thatsache lässt sich nun auch ohne Ermittelung der Trockensubstanz mit grosser Sicherheit schliessen, dass in allen diesen untersuchten Pflanzentheilen die Verbrennung auf Kosten von Kohlehydraten (ohne indessen etwas über die Zwischenzustände angeben zu können) stattfindet, und dass diese dabei eine vollständige Oxydation bis zur Kohlensäure erleiden, da jede andere Annahme nach den oben verzeichneten Combinationsmöglichkeiten, wenn man sie in Gedanken verfolgt, zu uncontinuirlichen Processen oder andern unzulässigen Folgerungen führt.

Dennoch muss darauf aufmerksam gemacht werden, — und Dies ist wieder ein Punkt, den man bisher ganz ausser Acht gelassen hat, — dass es eine Reihe von Processen in einzelnen Pflanzentheilen geben muss, die einen andern Gasaustausch als den zu gleichen Voluminibus voraussetzen. Ich denke hier namentlich an den Vorgang der Füllung der fetthaltigen Reservestoffbehälter, ganz abgesehen von der in weniger bedeutendem Massstabe stattfindenden Produktion anderer sehr sauerstoffarmer organischer Stoffe, die regelmässig in der Pflanze auftreten. Bei diesem Vorgang also z. B. während des Reifens eines ölhaltigen Samens muss in grossem Massstabe Fett aus Kohlehydraten gebildet werden, und Dies kann nur unter Abspaltung von Kohlensäure (gleichviel ob direkt, ob indirekt) geschehen, da wir in solchen Fällen nicht etwa entsprechende Mengen hochoxydirter organischer Stoffe auftreten sehen. Wir werden also mit Sicherheit für diesen und jeden analogen Fall bei der Untersuchung des Gasaustauschs solcher Organe eine verhältnissmässig kleine Sauerstoffaufnahme und verhältnissmässig grosse Kohlensäureausgabe erwarten dürfen, mit a. W. gerade das Umgekehrte erwarten dürfen, was wir bei der Auskeimung eines solchen fetthaltigen Reservestoffbehälters stattfinden sehen, wo unter grossem Sauerstoffconsum das Fett wieder in das in den vegetirenden Organen funktionirende Kohlehydrat übergeht.

Wir müssen uns diese Sachlage vergegenwärtigen, um zu einem Ueberblicke über die chemischen Vorgänge bei der Pflanzenathmung zu gelangen.

Im Allgemeinen, so wird man also sagen können, findet die Athmung bei den

---

*) Cahours: Compt. rend. T. 58. p. 495 und 653.

lebenden Pflanzen in der Weise statt, dass irgend ein Kohlehydrat des Protoplasma's vollständig verbrennt. Der in das lebende Gewebe eintretende Sauerstoff tritt nur beladen mit Kohlenstoff, den er ohne Volumänderung in seine Molekule aufnimmt, als Kohlensäure wieder aus. — Findet aber neben diesem Vorgang Neubildung organischer Substanzen von anderer Oxydationsstufe als die Kohlehydrate auf Kosten von diesen, oder die Rückverwandlung jener Substanzen in diese statt, so hört diese regelmässige Beziehung zwischen den ein- und ausgeathmeten Gasen auf, und diese Beziehung wird um so unregelmässiger, je verwickelter diese Umwandlungsvorgänge sind. Für einen Vorgang, wobei solche Stoffmetamorphosen in hervorragender Weise statthaben, gelang es experimentell, diese theoretisch vorauszusagenden Abänderungen in den Verhältnissen jener beiden Gase zu bestätigen, für andere wird es ohne Zweifel gelingen, wenn man ihn ernstlich in experimentelle Bearbeitung nimmt.

In allen Fällen bedingt aber die dauernde Athmung eine Stoffverminderung, geradeso wie der ihr entgegengesetzte Process der Produktion von organischer Substanz eine Stoffvermehrung bewirkt. Dieser letztere Process findet aber mit viel grösserer Intensität statt, sonst würde es ja eine Pflanze, die unausgesetzt athmet, nur beim hellen Tageslicht aber Stoff producirt, zu keiner Vermehrung ihrer Substanz bringen können. Die Produktion findet sogar mit solcher Intensität statt, dass täglich 6 Stunden eines mässigen Lichts genügen, um der 24stündigen Athmung wirksam entgegenzutreten. So wird uns dann die sehr ansehnliche Produktion frischer grüner Pflanzen in den hellen langen Tagen des Sommers begreiflich, trotz dem unausgesetzten Angriff des Verbrennungsprocesses, der die eben producirte Substanz wieder zu vernichten strebt.

Zum Schluss dieser Vorlesung möchte ich noch von der Wärmeentwickelung in Folge der pflanzlichen Athmung reden. Dass bei einer jeden Athmungserscheinung als bei einer Verbrennung chemische Spannkräfte in Freiheit gesetzt werden und dass diese freiwerdenden Spannkräfte in Form der lebendigen Kraft der Wärme alsdann aufzutreten pflegen, haben wir bereits weiter oben hervorgehoben. Hier handelt es sich darum, ob diese Wärme nachzuweisen ist und welche Rolle sie im Pflanzenleben spielt.

Zunächst muss ich bemerken, dass Alles, was während der Athmungserscheinung an innern chemischen Kräften verloren geht, *endgültig* in Form von Wärme auftreten muss, dass die Bewegungserscheinungen des Protoplasma und die andern von uns unbeachtet gelassenen pflanzlichen Bewegungserscheinungen nicht äussere mechanische Arbeit, wie dies bei der thierischen Bewegung der Fall ist, zu leisten im Stande sind, dass sie mithin, ohne sich auf die Aussenwelt zu übertragen *), durch Reibung im eigenen Organismus, oder dieses Organismus an der unmittelbaren Umgebung verschwinden und somit wieder in Wärme zurückverwandelt werden. Sämmtliche durch den Chemismus der Athmung freiwerdenden chemischen Kräfte müssen also im oder am Pflanzenleibe als Wärme auftreten.

Wir hatten schon hervorzuheben, dass die pflanzliche Athmung mit sehr viel

---

*) Von kleinen Luftbewegungen, die durch das Zusammenfalten reizbarer Organe veranlasst werden können etc., abgesehen.

geringerer Energie erfolgt als die Athmung der höheren Thiere, und daraus folgt, dass auch die Wärmemengen, die wir in Folge der Athmung erwarten dürfen, bei den Pflanzen sehr viel geringer sein werden als beim Thiere. Dazu kommt zweierlei, das diese Wärme bei der Pflanze zu verdecken strebt, — einmal die sehr starke Verdunstung, die allen starkvegetirenden Trieben eigenthümlich ist, und die wegen der bedeutenden latenten Dampfwärme des Wassers eine grosse Menge Wärme in Anspruch nimmt — und dann die verhältnissmässig grosse Oberfläche aller starkathmender Organe, die die rasche Ausstrahlung der etwa noch überschüssigen Wärme begünstigt *).

Am meisten Aussicht werden wir haben, die Eigenwärme an Pflanzentheilen nachzuweisen, die ungewöhnlich energische Athmungsprocesse in sich vollziehen. Als solche kennen wir die keimenden Samen und namentlich die Geschlechtsorgane der Pflanzen, vor Allem die männlichen. — Es gelingt in der That, so wenig wir im gewöhnlichen Leben mit dem Gedanken vertraut sind, die Pflanzen als Wärmeerreger anzusehen, sogar mit dem gewöhnlichen Thermometer die Selbsterwärmung der Geschlechtsorgane mancher Pflanzen in der Periode der Geschlechtsreife nachzuweisen. Am Kolben der Aroideen, der in sofern ein günstiges Objekt abgeben musste, als er bei compakter Masse eine verhältnissmässig kleine Oberfläche hat, gelang es schon vor beinahe 100 Jahren Wärmeentwickelung wahrzunehmen. Genaue Versuche, die in neuerer Zeit ausgeführt worden sind, zeigten, dass diese Selbsterwärmung bis zu 9°C über die umgebende Temperatur steigen kann, und dass der Sauerstoffconsum des Kolbens proportional mit diesem Wärmeüberschuss zu- oder abnahm. **) Ganz ähnliche Resultate erhielt man bei andern Blüthen. Ziemlich allgemein bekannt ist die Selbsterwärmung von keimendem Samen, die bemerkbar wird, wenn man ihn nur in genügend dicken Schichten aufeinander häuft, z. B. bei der Malzbereitung. Bei der Keimung von Brassica Napus will man selbst eine Temperaturerhöhung um 21°C wahrgenommen haben.

Aber selbst bei grünen Organen ***), die nur eine unbedeutende Athmung unter-

---

*) Ich hebe hier nochmals hervor, dass in Folge der Produktionsthätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle, keine Wärme in der Weise gebunden wird, dass in Folge hiervon die Zelle sich unter die Temperatur der Umgebung abkühlt, obgleich dies in einigen Werken noch immer zu lesen ist.

**) Sachs a. a. O. p. 292—300.

***) Auch für die grünen Organe lässt sich zeigen, dass die Athmungsvorgänge mit um so grösserer Intensität verlaufen, je mehr das Organ noch im Stadium der Weiterentwicklung befindlich ist, wie denn überhaupt die Intensität dieses Vorgangs überall von der Lebhaftigkeit der Vegetationsprocesse abhängig ist. De Saussure hat vergleichungsweise den Sauerstoffverbrauch grüner Organe im Dunkeln festgestellt und dabei z. B. folgende relative Zahlenverhältnisse ermittelt:

Blätter der	Vegetationsstadium	Sauerstoffmenge
Vicia faba	vor der Blüthe	3,7
	während der Blüthe	2,0
	nach der Blüthe	1,6
Brassica olerac.	junge Blätter	2,4
	alte Blätter	2,0

halten, gelingt es durch eine sinnreiche Methode, die Wärmeerzeugung anschaulich zu machen. Wenn man nemlich einen jungen grünen Spross durch Bedecken mit einer Glocke vor der Verdunstung und dem mit dieser verbundenen Wärmeverlust schützt, so gelingt es, nicht mit einem Thermometer, wohl aber mit einer thermoelektrischen Nadel *), deren eine Löthstelle in den zu untersuchenden Spross, deren andere Löthstelle in einen gleichen, ebenfalls vor Verdunstung geschützten, jedoch *getödteten* Spross eingestochen wird und die mit einem starken Multiplicator in Verbindung gesetzt wird, die allerdings sehr geringe Eigenwärme durch Ablenkung der Nadel nachzuweisen. **)

Wir sind im Laufe der Vorlesung zu folgenden neuen Sätzen gelangt:

1) Ausser dem Sauerstoff, den die Pflanze durch ihre sauerstoffhaltige Nahrung in sich aufnimmt, bedarf dieselbe zur Erhaltung ihres Lebens des freien Sauerstoffs.
2) Die Aufnahme des freien Sauerstoffs ist verbunden mit der Ausgabe von Kohlensäure. Die Pflanze unterhält somit einen wahren Athmungsprocess ganz analog der thierischen Athmung.
3) Die Aufnahme von Sauerstoff steht meistens zur Ausgabe von Kohlensäure in einem einfachen Verhältniss (1 : 1 nach den Volumen), jedoch nicht immer; und namentlich dann nicht, wenn Stoffumwandlungen in dem athmenden Organe vollzogen werden.
4) Der Athmungsprocess steht in einer innigen Beziehung zur Thätigkeit des Protoplasma und ist am intensivsten in den Organen, wo intensive Vegetationsvorgänge, wie Keimung, Knospung, geschlechtliche Vorgänge stattfinden.
5) Die in Folge der Athmung entstehende Wärme kann an den Pflanzen experimentell nachgewiesen werden.

Achte Vorlesung.

Die stickstofffreien organischen Bestandtheile der Pflanzen. — Die Kohlehydrate.

In unsern bisherigen Betrachtungen haben wir die Entstehung der organischen Substanz, die Wanderung und mannigfache Umformung derselben und schliesslich deren Zerstörung im Leibe der grünen Pflanze als Gegenstand der Darstellung gewählt. — Wir sind nunmehr genügend vorbereitet, um uns heute diejenigen organischen Substanzen etwas näher anzusehen, welche *allein diesen* verschiedenen Thätigkeiten ihren Ursprung verdanken, d. h. also die organischen Bestandtheile der Pflanzen, an deren Zusammensetzung sich nur die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff betheiligen. Bei diesem Unternehmen werden wir uns nicht darauf zu beschränken brauchen, die einzelnen hierhergehörigen Substanzen nach einer be-

*) Dutrochet: Annal. d. sc. nat. 1840. T. 13. p. 1.

**) Von der Bedeutung (?) der Eigenwärme der Pflanze für ihre Existenz soll in der zweiundzwanzigsten Vorlesung die Rede sein.

liebigen Reihenfolge ohne weiteren Zusammenhang abzuhandeln; vielmehr werden wir uns bei einer jeden Stoffgruppe einigermassen Rechenschaft geben können über die Bedingungen der Entstehung und Zerstörung sowohl, als über die physiologische Bedeutung der zu ihr gehörigen Verbindungen. — Ich glaube, dass man sich am ehesten bei dieser Behandlungsweise mit dem an sich etwas trocknen Gegenstande befreunden wird.

Aus dem eben Gesagten geht zugleich hervor, dass hier noch nicht *alle organischen Stoffe,* welche die Pflanze zusammensetzen, abgehandelt werden können und sollen. Es betheiligen sich (wie man schon aus gelegentlichen Bemerkungen über das Protoplasma entnehmen konnte) noch andere als die genannten drei Elemente an der Zusammensetzung vieler organischer Stoffe, die gleich den hier zu besprechenden, wenn auch in geringerer Masse, sich als normale Bestandtheile des Pflanzenleibes vorfinden. Allein die Behandlung dieser noch complicirter zusammengesetzten organischen Stoffe setzt die Kenntniss von ziemlich verwickelten Ernährungsverhältnissen voraus, auf die einzugehen, ich uns so lange wie möglich ersparen wollte. Ich glaube in den vorhergehenden Vorlesungen gezeigt zu haben, dass es möglich ist, die allgemeinsten und wichtigsten Grundzüge des Pflanzenlebens verstehen zu lernen, ohne zuvor das Gedächtniss mit allen den sekundären und tertiären Bedingungen beschwert zu haben, die gleichwohl nothwendig erfüllt sein müssen, damit die dargelegten Processe des Pflanzenlebens sich wirklich abwickeln. Die Aufsuchung jener entfernteren Bedingungen kann uns allerdings für die Zukunft nicht erlassen bleiben; allein wir haben so den für die Einführung in eine neue Wissenschaft wichtigen Vortheil errungen, die neuen uns anfangs verwirrenden Thatsachen nur langsam Schritt vor Schritt in uns aufzunehmen und immer erst an dem Ort, wo wir ihrer bedürfen. Es ist dies, wie ich glaube, der empfehlenswerthe Kunstgriff einer Lehrmethode, die vor Allem dahin strebt, das Interesse frisch zu erhalten, und in der Langeweile den Tod des Wissens und Erkennens sieht; sie wirft eine Frage auf, die besonders geeignet scheint, die Aufmerksamkeit zu erregen und erschöpft von dieser ausgehend alle Kreuz- und Querfragen, immer tiefer eindringend in die Masse des wissenschaftlichen Materials, bis der Lernende schliesslich beinahe unmerklich die wichtigsten Sätze, an denen er bei der nüchternen Nebeneinanderstellung ohne Wissbegierde vorübergegangen wäre, in sich aufgenommen hat.

Wir beschäftigen uns also hier zunächst mit den aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzten Verbindungen, die in der Pflanze auftreten, den sogenannten stickstofffreien organischen Stoffen des Pflanzenleibes. Knüpfen wir zunächst an die Stoffe an, die wir schon kennen, deren Entstehung und Funktionen in der Pflanze uns wohl bekannt sind, und beginnen wir mit dem *Stärkemehl* und der Gruppe der *Kohlehydrate,* ohne Zweifel den wichtigsten unter diesen Substanzen für die Pflanzenwelt.

Schildern wir erst die gemeinschaftlichen Eigenschaften der Kohlehydrate, deren Uebereinstimmung untereinander ausserordentlich gross ist und reden wir dann erst von denjenigen, die sie von einander scheiden.

Die *Kohlehydrate* können zusammengesetzt gedacht werden, wie ihr Name schon ausdrückt, aus Kohlenstoff und Wasser. Es ist kaum zu erwähnen nöthig,

dass dieser Name Nichts über ihre rationelle Constitution *), d. h. die Lagerung ihrer Atome aussagt; derselbe ist in der Chemie der Strukturverhältnisse ohne alle Bedeutung, sondern soll nur an die *empirische Formel* aller der Verbindungen jener Gruppe erinnern.

Die möglichen Combinationen der durch den Namen ausgedrückten Zusammensetzung $x C + y H_2O$ sind nun aber in den „Kohlehydrate“ genannten Körpern weitaus nicht erschöpft, sondern es sind von der Natur nur einige wenige Verhältnisse thatsächlich beobachtet, für die sich alle aussagen lässt, dass $y = x$, oder y ein wenig kleiner als x, so dass in den Verbindungen, wo y den kleinsten Werth annimmt $^6/_5 y = x$, z. B. dem Stärkemehl selbst die Formel $C_6H_{10}O_5$ zukommt. Die Kohlehydrate unterscheiden sich daher in ihrer Zusammensetzung nur durch Mengen von Wasser, die im Maximum $^1/_{10}$ ihres Gesammtgewichts betragen.

Von jeder einzelnen durch eine Formel repräsentirbaren Zusammensetzung gibt es jedoch mehrere isomere Kohlehydrate, so dass (trotz der beinahe identischen Zusammensetzung) doch eine ziemliche Anzahl von Kohlehydraten existirt.

Dieselben zerfallen der Zusammensetzung nach in drei Gruppen, in eine von der Formel $C_6H_{10}O_5$, der das *Stärkemehl*, die *Cellulose*, das *Inulin*, *Lichenin*, das *Dextringummi* und das *arabische Gummi* angehören,

in eine von der Formel $C_6H_{12}O_6$, der der *Traubenzucker*, *Fruchtzucker* **) und der *Sorbin* angehören,

und in eine, die der Zusammensetzung nach zwischen diesen steht, von der Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$, zu der der *Rohrzucker*, die *Melizitose* und die *Melitose* zählt.

Viele von diesen Kohlehydraten haben eine ganz untergeordnete Bedeutung für die Pflanzenwelt und sollen eben nur erwähnt werden.

Soviel über die Zusammensetzung. Nun zu den gemeinschaftlichen Eigenschaften und Reaktionen. — Alle Kohlehydrate sind ungefärbt, stellen also im ungelösten und feingepulverten Zustande eine weisse Masse dar, sie sind völlig geruchlos und haben alle ziemlich neutrale Eigenschaften, reagiren nicht auf Lakmuspapier und schmecken niemals sauer oder alkalisch und einige von ihnen zeigen höchstens durch ihre Verbindungsfähigkeit mit stärkeren Basen den Charakter einer schwachen Säure. Die Kohlehydrate sind nicht flüchtig, sondern zersetzen sich beim Erhitzen unter Bräunung. Die allgemeineren, fast allen organischen Substanzen zukommenden Eigenschaften, der Schwärzung mit concentrirter Schwefelsäure, der Fähigkeit mit Flamme zu verbrennen etc., bedürfen hier nicht der besonderen Erwähnung. Soweit bekannt, lassen sich alle die aufgezählten Kohlehydrate, die weniger als ein Molekul Wasser auf ein Atom Kohle enthalten, durch Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure (oder auch durch andere in speziellen Fällen wirkende Mittel) unter Addition von Wasser in ein Kohlehydrat von der Formel $C_6H_{12}O_6$, nemlich in Glycose ***) ver-

*) In Bezug auf das Wenige, was von der chemischen Constitution der Kohlehydrate bekannt ist, vergl. Kekulé: Lehrb. d. org. Chemie II. p. 329—34.

**) Fruchtzucker und Traubenzucker werden häufig zusammen, wenn man nicht zwischen ihnen unterscheiden will, als Glycose bezeichnet, vergl. Kekulé, a. a. O. II. p. 330. Anm.

***) Worunter wir in Folgendem Traubenzucker, Fruchtzucker oder ein Gemisch von beiden verstehen. Vergl. die vorige Anmerkung.

wandeln. Die umgekehrte Reaktion unter Entzug von Wasser gelingt dagegen künstlich nicht.

Was die Funktionen der Kohlehydrate in der Pflanze betrifft, so ist das Wesentliche davon schon in der sechsten Vorlesung erledigt worden. Wir haben uns stets Kohlehydrate, wahrscheinlich in der Form von Fruchtzucker, in der protoplasmatischen Zellflüssigkeit gelöst zu denken. Vermittelst dieser wird der Aufbau der Zellhäute der neuen Organe besorgt die im jugendlichen Zustande lediglich aus einem Kohlehydrat von der Zusammensetzung des Stärkemehls, der Cellulose bestehen.

In manchen Gewebetheilen werden aber die Kohlehydrate, die aus dem Zellsaft sich ablagern und *zur Zeit nicht zum Aufbau neuer Organe* dienen, in den verschiedenen andern Formen, die wir in der Gruppe der Kohlehydrate vorgefunden haben, niedergelegt, wenn sie überhaupt bei diesem Process die Zusammensetzung der Kohlehydrate beibehalten. So finden wir in den Reservestoffbehältern der verschiedenen Pflanzen beinahe die ganze Mannigfaltigkeit der eben aufgezählten Kohlehydrate, also neben Stärkemehl und Cellulose den Rohrzucker, das Inulin, das Lichenin etc., während andere wie das Dextrin mehr als Uebergangsstufen, des niedergelegten Materials, in das gelöste Kohlehydrat des Zellsaftes, das zu Neubildungen dient, zu betrachten sind und wieder andere wie das arabische Gummi Ausscheidungsprodukte zu sein scheinen, unfähig einer Wiederaufnahme durch den Zellsaft und einer neuen Verwendung im Organismus.

Hierdurch ist die Stellung der Kohlehydrate im Haushalt der lebenden Pflanze genügend charakterisirt.

Doch wir wollen nun auf die einzelnen dieser Gruppe angehörigen Stoffe etwas näher eingehen und mit denen von der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$ beginnen.

Das *Stärkemehl* (Stärke, Amylum, Granulose), von dessen hervorragender Rolle in der Pflanze wir schon gesprochen haben, ist eine in Wasser unlösliche, völlig geruch- und geschmacklose Substanz, die im reinen Zustand ein weisses Pulver darstellt, das beim Reiben knirscht. Das Stärkemehl tritt in der Pflanze stets in mehr oder minder kugeligen Körnern, den sogenannten Stärkekörnern auf. Die Stärkekörner besitzen, wenn sie eine gewisse Grösse erreicht haben, eine eigenthümliche Struktur, so dass wasserhaltigere und wasserärmere, stärker lichtbrechende und weniger stark lichtbrechende Schichten mit einander abwechseln. Ueber diese merkwürdigen Verhältnisse allein, welche die Stärkekörner dem Beobachter darbieten, sind dicke Bücher *) geschrieben worden. — Jene Schichten verschiedener Dichtigkeit sind aber nicht etwa successive bei der Abscheidung des Stärkekorns aus dem Protoplasma aufeinander abgelagert worden, sondern die sich abscheidenden Stärkekörner wachsen durch sogenannte Intussusception; die neu sich niederschlagenden Stofftheilchen lagern sich zwischen die schon dem Korne angehörigen, während diese auseinanderrücken und sich gleichzeitig der Peripherie des Korns nähern. Dies Verhalten hat unter Anderem dadurch festgestellt werden können, dass die äusserste peripherische Schicht solcher Stärkekörner stets eine relativ wasserarme und dichte **) ist,

---

*) Ich erinnere an das Werk von Nägeli: Die Stärkekörner.

**) Hofmeister: Die Lehre von der Pflanzenzelle p. 383.

während bei erfolgender Aufeinanderlagerung der Schichten, abwechselnd wasserreichere und wasserärmere Schichten an der Aussenfläche zu bemerken sein müssten. —

Die Stärkekörner an sich sind an Gestalt und Grösse in verschiedenen Pflanzen und Pflanzentheilen durchaus verschieden und vielfach für diese charakteristisch. Dieselben sind in den Behältern, wo *dauernde Ablagerung* erfolgt und wo lange Zeit die Bedingungen zur Wiederauflösung nicht vorhanden sind, von *viel bedeutenderer Grösse,* als in den Organen, wo nur eine ganz vorübergehende Ablagerung stattfindet, wie in den Chlorophyllkörnern, denen bei den meisten Pflanzen Stärkekörner von ausserordentlicher Kleinheit eingebettet sind, und in den stärkeführenden Geweben auf dem Wanderungsweg. Solche kleinere Körner zeigen meistens noch keine deutliche Differenzirung in verschiedene Schichten; vergl. Fig. 2.



Fig. 2. Stärkekörner *)
(Vergrösserung 450 mal, bei b und g 300 mal).

a) in den Chlorophyllkörnern und in den Möhren.
b) im Weizenkorn.
c) im Haferkorn.
d) im Maiskorn.
e) im Hirsekorn.
f) im Haidekorn.
g) im Bohnensamen.
h) in der Kartoffelknolle.

*) Nach Kühns: Ernährung d. Rindviehs.

Die verhältnissmässig grossen Stärkekörner, wie wir sie in den Reservestoffbehältern der Samen und der Knollen vorfinden, unterscheiden sich nun wieder durch Grösse und Gestalt je nach ihrem Vorkommen in den verschiedenen Pflanzen und Pflanzentheilen. Bekanntlich kann man leicht unter dem Mikroskope die Kartoffelstärke (Stärkekörner der Kartoffelknolle) von der Weizenstärke (Stärkekörner des Weizensamens) durch die verhältnissmässige Grösse der ersteren Körner unterscheiden, und weitere Unterschiede, wenn auch nicht so krasse, zeigen sich für die Stärkekörner des Samens verschiedener Getreidearten (vergl. Figur 2). Es ist damit eine sehr brauchbare Kontrole gegen etwaige Verfälschungen*) der einzelnen Stärkesorten durch andere gegeben. **)

*) Die Stärke des Handels hat trotz der beinahe vollständigen Identität der chemischen Substanz des Stärkemehls je nach dem Ursprung derselben einen verschiedenen Werth, wegen der anhaftenden Unreinigkeiten, die sie ungleichartig machen.

**) Ueber die durchschnittliche Grösse der Stärkekörner in einzelnen Pflanzen hat Payen (vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs I. p. 293) umfassende Angaben gemacht. Dieselbe schwankt von 0,185 mm bei der Kartoffel bis zu 0,002 mm beim Samen von Chenopodium quinoa.

Aber auch die Stärkekörner verschiedener Ablagerungsgewebe einer und derselben Pflanze, z. B. der Knollen und der Früchte, sind einander ebenso unähnlich.

Was nun diese eigenthümliche Gestaltung der Stärkekörner betrifft, so hat man in ihr vielfach, da es nicht gelang, dieselbe künstlich nachzubilden, eine *Organisation* erkennen wollen, die sich z. B. der Organisation einer Zelle, die wir auch künstlich nachzubilden zur Zeit unfähig sind, an die Seite stelle. Allein man hat in der neusten Zeit Thatsachen kennen gelernt, die es wahrscheinlich machen, dass jene Gestaltung bei genügend langsamer Ausscheidung aus Lösungen auch *nicht organisirten* und sogar *unorganischen* Stoffen zukommt, und dass nur unsere Unfähigkeit, überhaupt Stärkemehl langsam aus Lösungen niederzuschlagen, (da wir dasselbe ohne chemische Umwandlung nicht lösen und chemisch verändertes nicht zurückverwandeln können) daran Schuld ist, dass wir jene merkwürdigen Bildungen nicht auch ausserhalb des Organismus veranlassen können. Es ist nemlich jüngst Famintzin*) gelungen, durch Vermischen von Chlorkalcium und kohlensaurem Kali unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmassregeln den sich ausscheidenden kohlensauren Kalk zu veranlassen, nicht blos Form, Differenzirung der Schichten**) etc. der Stärkekörner, sondern auch deren Wachsthumserscheinungen zu zeigen, so dass wir uns wahrscheinlich nicht mehr für berechtigt halten dürfen, die Stärkemehlkörner als wirklich organisirte Gebilde anzusprechen. Bei Ausscheidung von Kieselsäure nach Vermischen von Fluorkieselgas und Wasserdämpfen scheinen ferner ganz analoge Beobachtungen gemacht worden zu sein.***) Wir haben daher wohl die Stärkekörner als Gebilde anzusehen, denen an sich keine Organisation zukommt, als Gebilde, die etwas Aehnliches für die amorphen Substanzen sind, wie die Krystalle für die krystallisirbaren, und die von der lebenden Zelle in ihrer Beschaffenheit himmelweit verschieden sind.†)

Im heissen Wasser ist das Stärkemehl stark quellbar und es gehen dabei filtrirbare Bestandtheile an das Wasser über, während einzelne ungelöste Partien des Stärkekorns in Lamellen zurückbleiben. Ob man es aber in den filtrirbaren Theilen dieses sogenannten Stärkekleisters mit wirklich gelöstem Stärkemehl zu thun hat, wird bezweifelt, da durch Pflanzenmembranen nichts von diesem Kleister hindurchgeht. Jedenfalls wäre die gelöste Substanz als eine äusserst colloïdale (in dem Sinn von Graham) zu bezeichnen.

Diese Quellbarkeit und Kleisterbildung tritt auch in kaltem Wasser ein, dem man kaustische Alkalien oder auch Säuren und einige andere Substanzen in gewissen Verhältnissen zugesetzt hat; und endlich gelingt es auch mit kaltem reinem Wasser, in welchem die Stärkekörner als solche unlöslich sind, den mechanisch zerkleinerten Stärke-

*) Verhandlungen des naturh. mediz. Vereins zu Heidelberg. 1869. B. V. p. 18.

**) Aehnliche Beobachtungen waren schon früher von Robin und Verdeil (siehe ebenda) an dem aus dem Pferdeharn sich ausscheidenden kohlensauren Kalk gemacht worden, ohne dass indess Schlussfolgerungen von Bedeutung aus diesen Beobachtungen gezogen worden waren.

***) Siehe ebenda p. 22.

†) In diesem Punkte macht Famintzin (siehe ebenda p. 22) abweichende Schlüsse, der wegen der Analogie der Zelle und des Stärkekorns die Grenze des organischen Reichs schon erschüttert glaubt.

körnern einen Theil ihrer Substanz zu entziehen. Die so gebildete Lösung ist nun zwar im Stande, die Zellhaut zu durchdringen, aber dem Primordialschlauch*) gegenüber verhält sie sich als colloïdale Substanz, so dass wir, hierauf fussend, weiter oben geschlossen haben, der Transport der Stärkekörner durch die Pflanze könne nicht in dieser Form stattfinden.

Schon die eben angedeuteten Erscheinungen der theilweisen Löslichkeit (oder Aufquellbarkeit, wenn man lieber will) des Stärkekorns, während Lamellen von ungelöster und noch zusammenhängender Substanz zurückbleiben, deuten auf eine chemische Verschiedenheit der in den Stärkekörnern abgelagerten organischen Stofftheilchen hin. Deutlicher zeigt sich dieses Verhalten, wenn man Stärke mit verdünnten Säuren oder mit Speichel behandelt. Wir müssen aber, ehe wir auf dieses Verhalten näher eingehen, noch einige für das Stärkemehl charakteristische chemische Reaktionen in's Auge fassen.

Das Stärkemehl, das wir vorerst noch als eine einheitliche Substanz, als ein chemisches Individuum auffassen wollen, zeigt eine Reaktion, die für dasselbe in einer jeden Form, auch als Kleister völlig charakteristisch ist, und desshalb auch als mikrochemische Reaktion, da wo die Körner ihrer Kleinheit wegen oder aus sonst einem Grund nicht sofort als Stärkekörner erkannt werden können, die ausgedehnteste Verwendung findet. Es ist dies die bekannte Jodreaktion, die Fähigkeit des Stärkemehls, das Jod, welches ihm z. B. in der Form einer wässrigen alkoholischen Lösung dargeboten wird, rasch zwischen seine Theilchen einzulagern, vielleicht sich chemisch mit ihm zu verbinden, so dass eine *intensive Blaufärbung des Stärkemehls* eintritt.

Von weiteren Reaktionen, die wichtig genug sind, um hier Erwähnung zu finden, ist dann die Umwandlung des Stärkemehls und Stärkekleisters in Dextrin**) und Glycose zu nennen, die durch *Kochen mit verdünnter Schwefelsäure*, oder auch durch einen in vielen keimenden Samen auftretenden stickstoffhaltigen fermentartigen Stoff, die *Diastase* und endlich durch einige Fermente des thierischen Körpers, das im Speichel enthaltene *Ptyalin* und das in dem Pankreassafte enthaltene *Pankreatin* bewirkt werden kann. Nach der ersten Methode findet die Zuckerbildung aus Stärkemehl bei der Bereitung des Kartoffelzuckers, nach der zweiten bei der Keimung stärkeführenden Samens und bei dem Maischprocesse in der Bierbrauerei etc., nach der letztgenannten bei der thierischen Verdauung statt. Der Process scheint indessen nicht gleich mit der Bildung der Glycose zu beginnen, sondern anfangs nur das Stärkemehl in eine mit ihm isomere Substanz, das Dextrin, und erst später unter Addition von Wasser in Zucker überzugehen.

Die Kenntniss dieser Reaktionen ist im Allgemeinen für das Stärkemehl wichtig, ganz besonders aber, um die vorhin berührte Frage nach der chemischen Differenz zweier im Stärkekorn enthaltener Substanzen beurtheilen zu können. Die exakteren Versuche nemlich, die eine derartige Sachlage zur Gewissheit erheben, sind folgende.

---

*) **Nägeli**: Stärkekörner p. 170.

**) Das Stärkemehl geht auch durch blosses Erhitzen auf 160 ° C in Dextrin über.

Wenn man Stärkekörner andauernd mit Speichel in der Wärme *) behandelt, so ist es möglich, wie Nägeli fand, den grösseren Theil der Substanz des Korns nach und nach in Lösung zu bringen, aber unter allen Umständen bleibt ein Rest von den Contouren des ursprünglichen Korns, auch noch die Schichtung desselben zeigend, zurück, der indessen die Fähigkeit, die beschriebene Jodreaktion zu geben, verloren hat und sich unter dem Einflusse dieses Reagens nur noch schwach gelbröthlich färbt. Aehnliches ist auch durch Behandlung mit andern Mitteln zu erreichen. Der zurückbleibende Theil verhält sich nicht mehr wie Stärke, quillt z. B. auch nicht in heissem Wasser, zeigt vielmehr ganz die Eigenschaften der Cellulose, also einer dem Stärkemehl isomeren Substanz, z. B. die Blaufärbung mit Jod nach dem Behandeln mit concentrirter Schwefelsäure.

Man darf übrigens nicht glauben, dass jene beiden sich verschieden verhaltenden Substanzen, aus denen wir uns nach dem Angeführten das Stärkekorn zusammengesetzt denken müssen, mit jenen dichteren und weniger dichten Schichten zusammenfallen; in jedem Punkte des Stärkekorns scheinen sich vielmehr beide Substanzen innig gemischt vorzufinden und nur die gegen Lösungsmittel resistentere in den dichteren Schichten vorzuwiegen.

Man hat nun auf die Entdeckung dieses Verhaltens hin sich entschlossen, diesem durch den Sprachgebrauch Ausdruck zu verleihen und diejenige Substanz, die in grösserer Menge im Stärkekorn vorhanden ist, die ausserdem die Stärkemehlreaktionen gibt, als *Granulose* zu bezeichnen, während man die restirende Substanz geradezu mit der Cellulose identificirt. Das Stärkemehl ist also, wenn man diese Bezeichnungsweise adoptirt, kein chemisches Individuum, sondern als solches wäre die *Granulose* zu substituiren, oder man behält den Namen Stärkemehl für die chemisch einfache Substanz bei und sagt, dass die Stärkekörner kein reines Stärkemehl seien, sondern auch Cellulose eingelagert enthielten.

Man hat nun auch (wenn wir den Chemikern zu Liebe, bei denen das Wort Granulose noch nicht eingebürgert ist, die letztere Begriffsbestimmung wählen) gefunden, dass die *Stärkekörner verschiedenen Ursprungs* verschieden reich an chemisch reinem Stärkemehl sind. Die Kartoffelstärke hinterlässt, nach jener Methode behandelt, eine grössere Menge Cellulose, als die Weizenstärke, ein Verhalten, das vielleicht auch den Nahrungswerth beider etwas verschieden sein lässt.

Aus der schon mehrfach besprochenen Rolle, die das Stärkemehl in der lebenden Pflanze spielt, geht seine allgemeine Verbreitung in der Pflanzenwelt schon zur Genüge hervor. In grösster Menge finden wir es in den Reservestoffbehältern der Samen und der Knollen etc. angehäuft, und diese sind es auch hauptsächlich, die der Landwirth in unsern gewöhnlichen Kulturgewächsen, welche als Nahrungsmittel dienen sollen, erntet, und in vielen von diesen Samen und Knollen ist es gerade der Gehalt an Stärkemehl, der ihnen vorzüglich einen Nahrungswerth verleiht.

Es ist daher von einigem Interesse, den durchschnittlichen Stärkemehlgehalt unserer sogenannten Feldfrüchte kennen zu lernen. Ich theile daher ein kleines Verzeichniss desselben mit.

*) Vergl. J. Kühn: Ernährung des Rindviehs. 1868. p. 47.

Weizen	52—57 %	Buchweizen	44—46 %
Roggen	45—56 %	Linsen	40 %
Gerste	38—48 %	Erbsen	32—39 %
Mais	64—67 %	Kartoffeln	15—23 % *)
Reis	83—86 %		

Die Mehlsorten, die aus den Getreidekörnern dargestellt werden, sind, da sie vorzugsweise aus den inneren stärkereicheren Theilen des Korns dargestellt werden, sehr viel reicher an Stärkemehl; die feinsten Mehlsorten oft 12—20 % reicher, als die entsprechenden Körner.

An das Stärkemehl reiht sich nun ganz dicht an, der ebenso zusammengesetzte Körper;

die *Cellulose* (auch Zellstoff, Holzfaser, Pflanzenfaser genannt), ein Stoff, aus dem die *Zellwandungen der Pflanze* **) hauptsächlich, die jungen Zellwandungen sogar beinahe ausschliesslich gebildet werden, der also wie das Stärkemehl eine ganz hervorragende Rolle im Pflanzenleben spielt.

Die Eigenschaften der Cellulose sind in vielen Stücken denen des Stärkemehls sehr ähnlich; sie ist wie dieses in kaltem Wasser unlöslich, geruch- und geschmacklos und völlig ungefärbt; sie quillt aber, zum Unterschied vom Stärkemehl, auch in heissem Wasser nicht, zeigt ohne Weiteres keine Blaufärbung mit Jod und lässt sich nicht einfach durch Kochen mit verdünnten Säuren, oder durch Behandeln mit Diastase, Ptyalin ***) etc. in Dextrin und später in Zucker überführen. Die Cellulose zeigt, ähnlich wie das Stärkemehl, in der Form, wie sie in der Pflanze abgelagert wird, Differenzirung der Schichten, und man wird gezwungen, die Volumzunahme der Zellhaut ebenso *durch Intussusception* zu erklären, wie die des Stärkekorns. Man wird weiter genöthigt, gerade der *Cellulose* diese Art der Ablagerung zuzuschreiben, da alle übrigen organischen Stoffe, die sich an der Bildung der Zellhaut betheiligen, nur facultative Bestandtheile derselben sind, so regelmässig auch ältere Zellhäute solche andere Bestandtheile in sich enthalten. Der Zellstoff, die Cellulose ist der einzige wesentliche organische Bestandtheil der Zellhaut, und jugendliche Zellhäute enthalten häufig keine andere organische Substanzen in sich, als Cellulose.

Wir müssen zur Unterscheidung von solchen andern an dem Aufbau der Zellhaut gelegentlich sich betheiligenden Substanzen noch einige Reaktionen der Cellulose hier anführen. Dieselbe löst sich vollständig in concentrirter Schwefelsäure und zeigt alsdann †) die für Stärkemehl charakteristische Jodreaktion, verdünnt man alsdann mit Wasser und erhitzt, so erhält man, gerade wie aus dem Stärkemehl, durch Behandeln mit verdünnter Schwefelsäure, Dextrin und später Zucker. Man kann also sagen, dass sich die Cellulose durch concentrirte Schwefelsäure in eine Substanz verwandelt, die als Stärkekleister oder gelöste Stärke zu betrachten ist. Unterwirft

*) Die Zahlen sind aus mehreren Tabellen entnommen. Dieselben können natürlich auch keinen Aufschluss geben über den relativen Stärkemehlreichthum den andern organischen Bestandtheilen gegenüber, da die Wassergehalte der Früchte sehr verschieden sind.

**) Auch mancher niederen Thiere.

***) Indessen werden beträchtliche Mengen der Cellulose unserer Futtermittel vom thierischen Organismus verdaut d. i. zunächst in Zucker übergeführt.

†) Wenn bestimmte Verhältnisse eingehalten werden.

man die Zellenwandungen von Pflanzen einer solchen Behandlung, so findet man, dass manche dieser Zellhäute sich völlig lösen, andere aber, besonders ältere und „verholzte" Zellhäute ein Skelett hinterlassen, das aus eigenthümlichen organischen Substanzen, die wir später einer kurzen Betrachtung unterziehen werden, besteht, aus welchem Verhalten also die Betheiligung noch anderer organischer Substanzen an dem Aufbau der Zellhäute hervorgeht.

Andererseits zeigt sich die Cellulose resistent gegen eine Reihe von energischen Lösungs- und Zersetzungsmitteln, durch die umgekehrt jene eingelagerten fremden Substanzen entfernt werden können. Die Widerstandsfähigkeit gegen verdünnte Säuren habe ich schon hervorgehoben, dazu kommt die *Widerstandsfähigkeit der Cellulose* gegen *verdünnte Alkalien* und gegen *ein Gemisch von Salpetersäure und chlorsaurem Kali.* Unterzieht man pflanzliche Zellhäute der Behandlung mit diesen Mitteln, so gelingt es durch geeignete Combinationen, die andern organischen Substanzen vollständig zu entfernen, und es resultirt dann *unter allen Umständen* ein völlig ungefärbtes Skelett von der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$, *wodurch also die Anwesenheit der Cellulose in einer jeden Zellhaut dargethan ist.*

Eine weitere, der Cellulose eigenthümliche Reaktion ist ihre Löslichkeit in Kupferoxyd-Ammoniak. Aus der Lösung in diesem Reagens lässt sich die Cellulose durch Säuren in Gestalt eines weissen amorphen Pulvers, wie es scheint unverändert, wieder ausfällen.

Manche junge Zellwandungen, wie z. B. die der Samenlappen der Lupine, *) färben sich nun aber auch direkt mit Jod blau. Aehnlich verhalten sich Zellhäute aus den Samenlappen von Linsen, Erbsen, Wicken und Bohnen, ebenso auch Zellwandungen in den Fruchtschüsseln der Flechten. Für den erst angeführten Fall ist nun nachgewiesen, dass die mit Jod sich bläuende Substanz, ebenso wie die entsprechende Substanz der Stärkekörner, durch Behandlung mit Speichel sich ausziehen **) lässt, bis schliesslich eine Zellhaut übrig bleibt, die diese Eigenschaft verloren hat. Wir haben also *reines Stärkemehl oder Granulose* in diesen Zellhäuten (allerdings nur in ziemlich zurücktretenden Mengen) anzunehmen.

Aus diesem Verhalten, zusammengehalten mit dem vorhin bei den Stärkekörnern hervorgehobenen, geht hervor, dass der Zellstoff ebensowenig mit der Substanz der Zellhaut identificirt werden darf, wie die Substanz des Stärkekorns mit der chemisch reinen Substanz, dem Stärkemehl. Allein gerade wie das Stärkekorn vorzugsweise aus reinem Stärkemehl besteht, nebenbei aber (je nach seinem Ursprung) grössere oder kleinere Mengen Cellulose in sich einschliesst, so enthält auch namentlich die Zellhaut jugendlicher Gebilde häufig grössere oder kleinere Mengen von reinem Stärkestoff, so enthält die Zellhaut namentlich der älteren Gebilde manche andere von der Cellulose noch weiter verschiedene chemische Substanzen. Es ist dies ein Verhalten, das in der Fütterungschemie wohl beachtet werden muss, und welches veranlasst, dass man in derselben neben dem weiteren Begriff, Holzfaser

*) Vergl. J. Kühn: a. a. O. p. 48.

**) Ebenda p. 49.

einen engern Begriff, Rohfaser unterscheidet, worunter die Lösungsmitteln und Verdauungsflüssigkeiten gegenüber resistenteren, an Cellulose ärmeren Zellwandungen verstanden werden.

Aber auch, wenn man, wie Dies in neuerer Zeit mehr und mehr geschieht, Cellulose und Stärkemehl nicht nach der anatomischen Verschiedenheit ihres Auftretens im Pflanzenleib, sondern nach ihrer rein chemischen Verschiedenheit unterscheidet, so bleibt doch die chemische Differenz zwischen diesen beiden Substanzen eine geringe. Die reine Cellulose, die also an sich keine Blaufärbung, sondern nur eine sehr schwache Rothfärbung mit Jodtinkturen gibt, zeigt nach dem Behandeln mit concentrirter Schwefelsäure diese Reaktion, die auch in der Mikrochemie mannigfache Anwendung findet, und scheint so völlig in Stärke verwandelt zu sein. Künstlich ist es uns dagegen nicht möglich, Stärke in Cellulose zurückzuverwandeln, ebensowenig wie wir Dextrin in Stärke und Zucker (Glycose) in Dextrin und Stärke zurückverwandeln können. Die Reaktionen gelingen bis jetzt künstlich nur in einer Richtung, die durch die Anordnung bezeichnet wird: Cellulose, Stärkemehl, Dextrin, Zucker. — Die Umkehrung der Reihe, oder auch nur zweier Glieder derselben, ist bis jetzt künstlich nicht möglich gewesen, während in der lebenden Pflanze diese Umwandlungen, wie wir schon gelernt haben, in beliebiger Richtung gelingen. Der protoplasmatische Zellsaft hat unter gewissen Umständen (keimende Dattel) die Befähigung, die Cellulose (unter einer noch nicht ganz aufgeklärten Umwandlung) in sich zu lösen und als Stärkekörner, also vorwiegend als wirkliche Stärke wieder abzusetzen, und ebenso, unter andern noch häufiger eintretenden Umständen, das Umgekehrte zu bewirken.

Ehe wir mit der Behandlung der Cellulose hier abschliessen, muss ich noch darauf aufmerksam machen, dass manche Zellwandungen der allerniedrigsten Pflanzen nicht aus Cellulose zu bestehen, *überhaupt keine Cellulose in sich zu enthalten scheinen*: Das Gewebe des Flechtenlagers und das der meisten Pilze *) besteht aus einem organischen Stoffe, der auch nach Behandlung mit concentrirter Schwefelsäure mit Jod eine Blaufärbung nicht zeigt. Aehnliches beobachtet man auch bei stark cuticularisirten oder verholzten Zellhäuten der höheren Gewächse; *hier* gelingt es aber, wie es scheint, in allen Fällen nach Entfernung jener andern Stoffe durch geeignete Mittel, die Bläuungsfähigkeit durch Jod und Schwefelsäure hervorzurufen.

Von der gleichen Zusammensetzung wie das Stärkemehl und die Cellulose ist ferner:

das Inulin, in dessen Behandlung wir uns weit kürzer fassen können. Dasselbe ist, wie die beiden andern Stoffe, farb-, geruch- und geschmacklos, jedoch in Wasser, namentlich in warmem, löslich und kommt sogar in der Pflanze, in der es ausschliesslich die Rolle eines Reservestoffs spielt, nur in gelöster Form vor. Es lässt sich durch starken Alkohol leicht aus dieser wässrigen Lösung fällen in Gestalt eines feinen weissen Pulvers. Nimmt man diese Fällung in einem Inulin-haltigen Pflanzentheil, z. B. den Dahlia-Knollen vor, indem man dieselben in Weingeist legt, so gelingt es, den Stärkekörnern ähnliche concentrisch geschichtete Formen unter dem Mikroskope zu beobachten, wie Famintzin **) nachgewiesen hat. Es ist hierin

*) J. Kühn: a. a. O. p. 46 und Hofmeister: die Lehre v. d. Pflanzenzelle p. 258.

**) Verhandl. d. naturh. mediz. Vereins zu Heidelberg 1869. B. V. p. 23.

wahrscheinlich ein weiterer Beweis zu sehen dafür, dass die analoge Gestaltung der Stärkekörner keine eigenthümliche Organisation derselben andeutet.

Das Inulin färbt sich mit Jod nicht blau, sondern nur gelblich. Es dreht die Polarisationsebene des Lichts nach links und lässt sich gerade, wie der Stärkekleister durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure in Glycose überführen, doch soll Dies auch durch fortgesetztes Kochen mit blossem Wasser gelingen; Dextrinbildung ist als Zwischenstufe nicht beobachtet. Das Inulin ist ein ziemlich verbreiteter Stellvertreter des Stärkemehls, und als Reservestoff für eine neu sich entwickelnde Vegetation und als Nährstoff der Thiere diesem völlig gleichwerthig. Wir haben es nur als eine Eigenthümlichkeit gewisser Pflanzenarten ohne alle weitern physiologischen Consequenzen zu betrachten, dass in ihnen die Nährstoffe für eine neue Vegetationsperiode in dieser chemisch differenten Form abgelagert werden, während bei der endgültigen Verwendung dieses Stoffs zur Neubildung derselbe genau wie das Stärkemehl oder irgend ein anderer Reservestoff in eine Zuckerart verwandelt wird, mit der wir das Protoplasma der Zellen sich entfaltender Organe erfüllt sehen. Solche Pflanzenarten sind zunächst die Inula Helenium, in deren Saft das Inulin zuerst aufgefunden worden ist, und von welcher Pflanze es seinen Namen empfangen hat, dann ferner die Dahlie, Cichorie, Sonnenblume und Topinambur (unter den bekannteren Gewächsen), in deren Wurzeln oder Knollen das Inulin regelmässig vorkommt. Aus dem Nährwerth der Topinamburknollen, die sehr reich an Inulin sind, kann man schon schliessen, dass dieser Stoff auch in Hinsicht der thierischen Ernährung dem Stärkemehl gleichwerthig ist.

Das *Lichenin* *) (oder die Moosstärke), das ebenfalls die Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$ hat, scheint das Stärkemehl ebenfalls in einigen niedrigen Pflanzen vertreten zu können; es ist noch wenig untersucht und hat für uns keine hervorragende Bedeutung.

Eine ganz andere Rolle, als die bisher behandelten Kohlehydrate, spielt

das *Dextrin* (oder Dextrin-Gummi), seines Vermögens halber, die Ebene des polarisirten Lichtes nach Rechts zu drehen, so genannt. Dasselbe wird ausser im Keimungsstadium selten in lebenden Pflanzen vorgefunden, jedenfalls ist es niemals als Reservestoff in denselben vorhanden und vorzüglich, wie auch ausserhalb der Pflanze, als eine Uebergangsstufe zwischen Stärke und Zucker (Glycose) zu betrachten. Die Diastase, die auch in der keimenden Pflanze diesen Uebergang zu bewerkstelligen pflegt, bildet ausserhalb der Pflanze nachgewiesenermassen zuerst Dextrin, erst später Zucker aus dem Stärkemehl. Ein gleiches Verhalten dürfen wir auch für die Pflanze annehmen.

Ein weiterer Körper von derselben Zusammensetzung ist das bekannte

arabische Gummi (auch kurzweg Gummi oder Arabin) **). Diese Substanz nimmt jedoch trotz dieser Zusammensetzung eine Stellung in der lebenden Pflanze ein, die sie von allen den eben behandelten Stoffen strenge unterscheidet. Dieselbe ist

---

*) Die Amylo-Cellulose, von Alex. Müller im Rennthiermoose aufgefunden, dürfte vielleicht mit dem Lichenin identisch sein. (Vergl. Landw. Versuchsst. 1869. B. XI. p. 321.)

**) Demselben wird jedoch von anderer Seite die Zusammensetzung $C_{12}H_{22}O_{11}$, also die des Rohrzuckers beigelegt. (Vergl. Limpricht: Lehrb. d. org. Chem. 1862. p. 582).

weder Reservestoff, der dem Zellsafte des Frühlings Bildungsstoff liefert, noch eine Uebergangsstufe wie das Dextrin, sondern nach allen Anzeichen ein entschiedenes Endprodukt der vegetabilischen Lebensvorgänge, unfähig wieder in den Stoffwechsel der Pflanze einzugehen, ein eigentliches Excrement derselben. Dies ist um so auffallender, als sich dieser Stoff auch seinen Eigenschaften und Reaktionen nach dicht neben jene andern Stoffe und ganz dicht neben das Dextrin stellt.

Das arabische Gummi ist leichtlöslich in Wasser, aus dieser Lösung jedoch fällbar durch Alkohol — eine Eigenschaft, die auch dem Dextrin zukommt — und wird von diesem am leichtesten unterschieden durch seine Eigenschaft, die Ebene des polarisirten Lichtes nach Links zu drehen. Dasselbe lässt sich auch wie Dextrin, Stärke und Inulin durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure in Zucker (jedoch unbekannter Art) verwandeln. Dem Ansehen und einigen Eigenschaften nach ist übrigens der Körper, der ja sehr allgemein als Klebstoff benutzt wird, völlig bekannt, als ein weisses Pulver, das mit wenig Wasser einen dicken Syrup bildet.

Zu erwähnen ist noch, dass dieses Arabin entschieden die Rolle einer Säure spielt, sich leicht mit Alkalien und alkalischen Erden verbindet und auch in solchen Verbindungen in der Pflanze angetroffen wird.

Diese Substanz, welche als ein Ausschwitzungsprodukt mancher Pflanzen auftritt, ist nun nach den übereinstimmenden Beobachtungen vieler Forscher aufzufassen als ein Umwandlungsprodukt der Cellulose, das nachher aus der Pflanze ausgeschieden wird und dann unfähig ist, wieder von dem protoplasmatischen Zellsaft wie alle die bisher betrachteten Kohlehydrate aufgenommen, in Zucker verwandelt und zur Neubildung von Organen verwendet zu werden. Es gelingt noch leicht, in den verschiedenen Gummiarten, wie man sie im Handel bezieht, Zellen der Gewebetheile aufzufinden, deren Zellhäute deutlich den Uebergang in arabisches Gummi erkennen lassen, so z. B. im Senegal-Gummi, solche Zellen der Acacienrinde, aus denen dieses Produkt ausfliesst und für den Handel gewonnen wird. Aber auch noch viele andere Gewächse, selbst einige unserer Heimath liefern auf die gleiche Weise Ausschwitzungen von Gummi, das je nach seinem Ursprung mit sehr verschiedenen Stoffen verunreinigt ist und mit sehr verschiedenen Namen belegt wird. Ich erwähne hier nur das Kirschgummi, welches wir aus unseren Kirschbäumen, Pflaumenbäumen etc. und aus den Früchten dieser Bäume ausfliessen sehen; das Bassorin, das einer Cactusart, das Traganthgummi *), welches den Markstrahlenzellen von Astragalusarten entstammt. Doch liegen noch keine genügenden chemischen Analysen vor, um alle diese verschiedenen Substanzen als völlig identisch mit Arabin zu bezeichnen.

Hier ist auch der geeignete Ort, um einer eigenthümlichen Umwandlung des Zellstoffs in eine Modification von ganz anderen Eigenschaften und unbekannter Zusammensetzung Erwähnung zu thun, der Umwandlung in das sogenannte *schleimgebende Gewebe*. Diese Abart des Zellstoffs ist im trocknen Zustande beinahe hornartig, quillt jedoch im Wasser zu einem ansehnlichen Volum auf, um sich schliesslich in demselben zu einer schleimartigen Masse zu vertheilen. Dieselbe kommt namentlich in den Oberhautzellen der Samenschalen des Leins **), aber auch des Quitten- und

---

*) H. v. Mohl: Botan. Zeitung 1857. p. 33.

**) Vergl. über Pflanzenschleime Jahresber. f. Agrikulturch. 1865. p. 94.

Kleesamens vor, und die Quellungsfähigkeit, die sie den Epidermiszellen dieser Samen verleiht, ist genugsam bekannt.

Auch dieses schleimgebende Gewebe hat man wahrscheinlich als ein Endprodukt des pflanzlichen Stoffwechsels anzusehen, da es zudem stets Pflanzentheilen angehört, die niemals in der Lage sind, als die Reservenahrung einer späteren Vegetation zu dienen.

Weit kürzer können wir in der Behandlung der für die Pflanze wichtigeren Kohlehydrate anderer Zusammensetzung sein, und wir wollen zunächst die den eben abgehandelten näher stehenden, nur wenig Wasser mehr enthaltenden, von der Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$ einer Betrachtung unterziehen.

Von den Kohlehydraten dieser Zusammensetzung ist nur

der *Rohrzucker* von einiger Wichtigkeit. Für die Rolle, die derselbe in der Pflanze spielt, kann beinahe wörtlich das wiederholt werden, was wir vom Inulin ausgesagt haben. Wie dieses, ist er nur Reservestoff, nicht Bestandtheil des protoplasmatischen Bildungssaftes*) oder direktes Assimilationsprodukt. Wie einige früher angeführte Pflanzen die uns bis dahin unbegreifliche Fähigkeit haben, die Glycose, die in dem Reservestoffbehälter angekommen ist, in Inulin umzuwandeln, so haben andere Pflanzen, wie Runkelrüben, Möhren, der Mais, das Zuckerrohr, der Zuckerahorn, die uns ebenso unverständliche Eigenthümlichkeit, in den Reservestoffbehältern oder andern Organen, in denen eine mehr vorübergehende Ansammlung organischer Bestandtheile stattfindet, das gelöste Kohlehydrat des Zellsafts in Gestalt von Rohrzucker aufzubewahren. Derselbe tritt ebenso wie das Inulin nur in gelöster Form in der Pflanzenzelle auf.

Der Rohrzucker ist in Wasser und wässrigem Alkohol leicht löslich, krystallisirt bekanntlich leicht in klinorhombischen Krystallen, schmeckt sehr süss und dreht die Ebene des polarisirten Lichtes nach Rechts. Derselbe ist daher von den bis jetzt behandelten Substanzen leicht auseinander zu halten. Vom Trauben- und Fruchtzucker kann er leicht unterschieden werden durch seine Unfähigkeit, Kupferoxyd in alkalischer Lösung schon unterhalb des Siedepunkts zu reduciren, wozu sämmtliche vorher abgehandelten Kohlehydrate auch unvermögend sind.

Durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure wird der Rohrzucker auch wie Stärke, Inulin, Dextrin etc. in Glycose verwandelt.

Von der gleichen Zusammensetzung wie der Rohrzucker sind noch die *Melizitose*, die in einer Manna-artigen Ausschwitzung von Pinus larix und die *Melitose* **), die sich in der australischen Eucalyptusmanna vorfindet, zu erwähnen. Diese beiden Substanzen sind zwar chemisch einigermassen bekannt, doch wissen wir viel zu wenig von den Funktionen dieser seltnen Stoffe in der Pflanze, dass ich es verantworten könnte, weiter von denselben zu sprechen. — Ihrem Vorkommen nach wäre man geneigt, sie als pflanzliche Auswurfsstoffe anzusprechen.

Von grosser Wichtigkeit für den Organismus der Pflanze sind dagegen einzelne

---

*) Wenn nicht etwa hier die Rohrzucker-haltigen Blutungssäfte des Ahorns und einige andere Erfahrungen zu einer Ausnahme nöthigen.

**) Nach einigen Angaben $C_6H_{12}O_6$ zusammengesetzt.

Glieder der wasserreichsten Gruppe unter den Kohlehydraten von der Formel $C_6H_{12}O_6$.

Der *Traubenzucker* und der *Fruchtzucker*, die beide zusammen auch den Namen *Glycose* führen, sind kaum getrennt zu behandeln, da es in vielen Fällen noch zweifelhaft ist, mit welchem von beiden man es zu thun hat, und die physiologische Gleichwerthigkeit beider als festgestellt betrachtet werden kann. Der Unterschied zwischen beiden besteht eigentlich nur darin, dass der Traubenzucker mit 1 Molekul Wasser zusammen krystallisirt und die Polarisationsebene nach Rechts dreht, während der Fruchtzucker nicht krystallisirt und nach Links polarisirt. Beide sind sehr verbreitet im Pflanzenreich und kommen namentlich in den Früchten (in allen unsern Obstsorten) in grosser Menge vor und sind direkt gährungsfähig.

Bei allen den bisher behandelten Kohlehydraten *) hatten wir davon zu berichten, dass sie durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure in Glycose verwandelt werden können. Diese Ausdrucksweise indessen ist wegen der Doppelsinnigkeit derselben nicht ganz erschöpfend. Manche Kohlehydrate, wie das Inulin, scheinen bei dieser Operation in den nicht krystallisirbaren Fruchtzucker, andere wie der Rohrzucker zur Hälfte in Fruchtzucker, zur Hälfte in Traubenzucker**), und wieder andere wie das Stärkemehl vorzugsweise in Traubenzucker verwandelt zu werden, der desshalb auch Stärkezucker und Malzzucker (in sofern er durch Diastase dargestellt ist) heisst. Weitere Synonyme des Traubenzuckers sind: Dextrose ***), Krümelzucker, Harnzucker, des Fruchtzuckers: Levulose ***), Schleimzucker. Ein Gemisch beider, wie es durch Behandeln von Rohrzucker mit verdünnter Schwefelsäure in der Wärme entsteht, heisst Invertzucker (sucre interverti) †), umgewandelter Rohrzucker.

Die von den Pflanzenphysiologen als Glycose bezeichnete Substanz kann wohl in den meisten Fällen als mit dem Fruchtzucker identisch betrachtet werden, und wir haben somit in dieser Substanz die Form zu sehen, in welcher die Kohlehydrate im protoplasmatischen Bildungssafte ††) enthalten zu sein pflegen und dadurch ist genügend die hohe physiologische Bedeutung dieser Zuckerart in's Licht gesetzt. Als *eigentliche Reservestoffe* scheinen der Trauben- und Fruchtzucker keine hervorragende Rolle zu spielen; — die Ansammlung in Früchten entspricht keinem Reservevorrath, wie wir neulich schon hervorgehoben haben.

Von weiteren Eigenschaften und Reaktionen der beiden Zuckerarten sind noch zu nennen, deren Leichtlöslichkeit in Wasser und Alkohol, ihr süsser Geschmack, der sich indessen nicht mit dem des Rohrzuckers messen kann, und dann namentlich die für sie charakteristische Reaction der Reduktion alkalischer Kupferlösungen, welche sogar zu quantitativen Bestimmungen dieser Zuckerarten in Pflanzensäften

---

*) Mit Ausnahme der Cellulose, bei der hierzu eine vorausgehende Behandlung mit concentrirter Schwefelsäure nothwendig ist.

**) Beachte übrigens den neuerdings über diesen Gegenstand geführten Streit: Compt. rend. T. 69 p. 1006, 1151, 1242, 1366.

***) Kekulé: Organ. Chemie. B. II. p. 357 u. 363.

†) Wohl in Folge eines Missverständnisses auch: Fruchtzucker.

††) Im Frühjahrssaft der Hainbuche wurde ausschliesslich dieser Zucker gefunden; vergl. Jahresber. f. Agrikulturchemie 1867 p. 109, ebenso in dem der Birke (ebenda 1865 p. 157).

und dergleichen benutzt wird. *) Dieselbe geht langsam schon in der Kälte vor sich, vollständig aber erst in der Nähe des Siedpunkts.

Von dem *Sorbin*, der die gleiche Zusammensetzung wie Trauben- und Fruchtzucker hat, brauchen wir nur einige Worte zu sagen. Derselbe unterscheidet sich von diesen durch die beinahe völlige Unlöslichkeit in Alkohol und die Unfähigkeit, den Hefepilz (der alkoholischen Gährung) zu ernähren; er wurde im Safte der Vogelbeeren aufgefunden. Von dessen physiologischen Functionen in den betreffenden vegetabilischen Organismen ist nichts bekannt.

Eine Substanz, die ihrer Zusammensetzung nach nicht strenge ein Kohlehydrat ist, denselben aber in Bezug auf Zusammensetzung und Eigenschaften sehr nahe steht, muss noch hier anhangsweise erwähnt werden. Ich meine

den *Mannit*, von der Formel $C_6H_{14}O_6$, der sich also von den zuletzt behandelten Kohlehydraten durch ein Plus von Wasserstoff unterscheidet. Diese Substanz kommt nicht blos in dem ausgeschwitzten Safte einiger Fraxinusarten (der sogenannten Manna) vor, sondern auch in der Sellerie und in einigen Pilzen und Algen, und ist dieselbe daher vielleicht nicht von ganz untergeordneter physiologischer Bedeutung.

Wir hätten somit alle wichtigeren Verbindungen aus der Gruppe der Kohlehydrate einer Betrachtung unterworfen. Allein ich fürchte, dass es schwierig gewesen ist, die einzelnen aufgezählten Eigenschaften, Reaktionen so rasch dem Gedächtnisse einzuprägen und desshalb theile ich eine kleine Tabelle mit, die eine Wiederholung jener Mittheilungen in einer — wie ich hoffe — übersichtlichen Weise enthält.

(Siehe Tabelle folgende Seite.)

Eine Art von Anhang zu den Kohlehydraten bilden einige Stoffe, denen in der Pflanze eine ähnliche, wenn auch untergeordnetere Bedeutung zukommt, wie der Cellulose, Stoffe, welche mit der letzteren die *älteren* Zellhäute zusammensetzen, diese hierdurch in mannigfaltiger Weise in ihrem Verhalten modificirend. Die dahin gehörigen Stoffe, ziemlich allgemein unter dem Namen von cuticularisenden und inkrustirenden Substanzen bekannt, sind zwar chemisch erst sehr unvollständig untersucht. Wir kennen eigentlich nur die Reagentien, durch die es möglich ist, sie vom Zellstoff zu trennen, und selbst ihre Zusammensetzung ist erst sehr unvollständig bekannt. Dieselben sind wahrscheinlich aufzufassen als sekundäre Umwandlungsprodukte des Zellstoffs **), analog dessen Uebergang in Gummiarten und in schleimgebendes Gewebe, wovon wir bereits gesprochen haben.

---

*) Und in der That nur von einer kleinen Anzahl anderer organischer Stoffe getheilt wird.

**) Die Auffassung dieser Stoffe als Umwandlungsprodukte im Gegensatz zu Produkten einer Neubildung aus dem Protoplasma, ist namentlich desshalb angezeigt, weil Inkrustirung und Cuticularisirung, ebenso wie die Verflüssigung der Zellhäute zu Gummi, vorzüglich immer in Zellen vor sich geht, in denen der protoplasmatische Zellsaft im Zurücktreten begriffen ist, d. h. also, für die complicirter gebauten höheren Gewächse, in solchen Zelllagen,

Die in den Pflanzen vorkommenden Kohlehydrate.

	Zusammensetzung.	In kaltem Waser	In heissem Wasser	In Alkohol	Kochen mit verd. Schwefels.	Jodtinktur	Alkalische Kupferlösung	Krystallisation	Polarisation	Funktion in der Pflanze
Stärkemehl	$C_6H_{10}O_5$	unlösl.	Kleister-Bildung	unlösl.	Uebergang in Traubenzucker.	blau	—	geschichtete Lagerung	polarisirt	Assimilationsprodukt (Baustoff) und Reservestoff
Cellulose	$C_6H_{10}O_5$	unlösl.	unlösl.	unlösl.	unverändert (nach d. Behandl. mit conc. Schwefelsäure Traubenzucker)	rothgelb	—	geschichtete Lagerung	polarisirt	Baustoff und Reservestoff
Inulin	$C_6H_{10}O_5$	kaum lösl.	lösl.	unlösl.	Fruchtzucker	gelblich	—	amorph	dreht nach Links	Reservestoff
Dextrin	$C_6H_{10}O_5$	lösl.	lösl.	unlösl.	Traubenzucker	—	—	amorph	nach Rechts	Uebergangsform
Arab. Gummi	$C_6H_{10}O_5$	lösl.	lösl.	unlösl.	unbekannter Zucker	—	—	amorph	nach Links	Excret
Rohrzucker	$C_{12}H_{22}O_{11}$	lösl.	lösl.	lösl. (unlösl. in absolut.)	Traubenzucker und Fruchtzucker	—	bei längerm Kochen Reduktion	klinorhombisch	nach Rechts	Reservestoff (Bildungsstoff)? (in Früchten)
Traubenzucker	$C_6H_{12}O_6$	lösl.	lösl.	lösl.	unverändert	—	Reduktion	unbekannte Krystallform	nach Rechts	Assimilationsprodukt,
Fruchtzucker	$C_6H_{12}O_6$	lösl.	lösl.	lösl.	unverändert	—	Reduktion	amorph	nach Links	Bildungsstoff, (in Früchten).
Sorbin	$C_6H_{12}O_6$	lösl.	lösl.	unlösl.	unverändert	—	Reduktion	rhombisch	nach Links	in Früchten und Ausschwitzungen
(Mannit)		lösl.	lösl.	lösl.	unverändert	—	—	unbekannte Krystallform	dreht nicht	in Ausschwitzungen ?

In Bezug auf die letzte Columne ist zu bemerken, dass unter Assimilationsprodukt — das erste Produkt der Thätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle, unter Baustoff — Substanzen, aus denen Zellhäute gebildet werden können und unter Bildungsstoff — diejenigen Substanzen verstanden werden sollen welche im Zellsaft gelöst zu Ablagerungen, sei es von Reservestoffen, sei es von Baustoffen dienen können.

Unter den inkrustirenden Substanzen, deren es mehrere zu geben scheint, ist *das Lignin* zu nennen, das in den verdickten Zellen des Holzes und namentlich der harten Schalen der Steinfrüchte in sehr bedeutenden Mengen vorkommt, und auch als Bestandtheil der verhärteten Zellwandungen unserer Grasarten (von Heu und Stroh) erkannt worden ist. Wie zweifelhaft es auch mit der Formel dieser Substanz steht, so ist doch mit Sicherheit anzunehmen, dass dieselbe sehr viel kohlenstoffreicher als die Cellulose ist und sich in ihrer Zusammensetzung beinahe den halbverkohlten Substanzen nähert, so dass das Holz unserer Bäume, die Wallnussschalen etc., in Folge der Inkrustation mit dieser Substanz eine wesentlich abweichende Zusammensetzung von der Cellulose zeigen.

Von der Cellulose wird das Lignin *) getrennt durch die Löslichkeit, die es, vorher mit Chlor behandelt, in Alkalien zeigt, und auf dieses Verhalten gründet sich auch die Reindarstellung der Cellulose bei der Analyse von Futtermitteln. Wenn man bei solchen Analysen die Maceration mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure versäumt, so erhält man eine Cellulose von 48% Kohlenstoff und mehr, während die reine Cellulose 44,4 % erheischt.

Die inkrustirten oder verholzten Zellen unterscheiden sich nun auch, wie schon aus den angeführten Beispielen theilweise hervorgeht, äusserlich von denjenigen, deren Wandungen aus reiner Cellulose bestehen. Die Zellhaut wird durch die Einlagerung oder theilweise Verwandlung in Lignin sehr hart, weniger dehnbar, leichter durchdringbar für Wasser, und die beiden ersteren dieser Eigenschaften sind ja aus dem Verhalten der Wallnussschalen, des älteren Holzes, den zarten jugendlichen Geweben der Pflanzen gegenüber, leicht ersichtlich.

Neben den inkrustirenden Substanzen haben wir dann hier von den cuticularisirenden zu sprechen. Die Zellen, welche die Aussenfläche der Pflanze begrenzen, und manche Zellpartien, die diesen nahe liegen, zeigen häufig eine Veränderung, die als Cuticularisirung oder Verkorkung der Zellhäute bezeichnet wird. Diese Veränderung besteht in einem Dehnbarer- und Elastischer-werden der Zellhaut, die alsdann schwer durchdringbar für Wasser und Gase, resistenter gegen äussere Einflüsse wird. Derartige Veränderungen erleiden z. B. die Zellwandungen der Sporen der niedrigen, der Pollenkörner der höheren Pflanzen, in ähnlicher Weise auch die zusammenhängende äussere Zellhaut ganzer complicirt gebauter Pflanzenorgane, die sogenannte *Cuticula*. In vielen Fällen erstreckt sich jedoch die Verkorkung der Zellhaut auf viele übereinander liegende Schichten, wie z. B. bei den verschiedenen Klassen von Bäumen, die den sogenannten Kork bilden; ferner nach Verletzungen etc.

Die beschriebene Umwandlung der Zellhaut, die also auch in ausgedehntester Weise vorkommt, ist der theilweisen Umwandlung oder Ersetzung des Zellstoffs durch eine chemische Substanz von noch wenig studirter Zusammensetzung zuzuschreiben, die man geradezu *Cuticularsubstanz* oder *Kork* genannt hat. Diese Substanz ist direkt in heissem Alkali auflöslich, ebenso wird dieselbe leicht durch Salpetersäure

---

die von den jugendlichen mit Protoplasma gefüllten Zellen entfernter sind. (Vergleiche hierüber Sachs: Handbuch d. Exper. Phys d. Pfl. p. 370.)

*) Nach Payen soll dasselbe durch Salzsäure in Zucker übergeführt werden können, wozu wesentlich Addition von Wasser nothwendig wäre.

zerstört und wird also bei den gewöhnlichen Methoden der Cellulosebestimmung mit entfernt. Die Reindarstellung der Korksubstanz ist wohl noch nicht gelungen, wie die wechselnden Angaben über deren Zusammensetzung und namentlich der noch zweifelhafte Stickstoffgehalt desselben beweisen. *)

Wenn wir es nun in der nächsten Vorlesung unternehmen, einen Blick über die fast unzählbaren anderen ternären organischen Verbindungen, die in der Pflanze vorkommen, zu werfen, so wird dies geschehen mit aller thunlichen und in diesem Falle angemessenen Kürze, ohne irgendwie näher das Gebiet der organischen Chemie zu betreten. Einer etwas ausführlicheren Behandlung haben wir heute die Kohlehydrate desshalb gewürdigt, weil sie es fast allein sind, die von jenen zahllosen in der lebenden Pflanze auftretenden organischen Verbindungen eine hervorragende Rolle in der Pflanze spielen, eine Rolle wenigstens, deren Sinn zu verstehen uns einigermassen möglich ist. Fast allen den nun zu behandelnden Stoffen kommt keine derartige klarerkannte Funktion zu; wir sind geneigt, sie grösstentheils als Stoffe ziemlich zufälliger Herkunft und für die Existenz der Pflanzen als bedeutungslos zu bezeichnen, — *mit welchem* Rechte, wird erst später möglich sein zu beurtheilen. Die Fette, die wir als Reservestoffe und auch gelegentlich als direktes Assimilationsprodukt kennen gelernt haben, machen von dem ausgesprochenen Satze allein eine Ausnahme; für alle übrigen erscheint er nach unserer heutigen Erkenntniss fast ohne Einschränkung gültig, und diese verdienen daher bei dem jetzigen Zustand der Wissenschaft, wenn wir unseren vorgezeichneten Zweck im Auge behalten, nur eine skizzenhafte Behandlung.

Neunte Vorlesung.

Die stickstofffreien organischen Bestandtheile der Pflanzen. — Die Fette und die übrigen stickstofffreien organischen Stoffe.

Die Stoffe, die wir zur Gruppe der *Fette* rechnen, sind sammt und sonders, im Verhältniss zu ihrem Gehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff, sauerstoffärmer als die Verbindungen, mit denen wir uns in der letzten Vorlesung beschäftigt haben, — die *Kohlehydrate*. Wir konnten schon früher die Fette ganz im Allgemeinen, ohne näher auf ihre Zusammensetzung einzugehen, als nach der Formel $(x\,C + y\,H_2O - z\,O)$ zusammengesetzt bezeichnen, wo x, y, z noch ganz unbestimmte, aber positive Werthe haben sollten.

*) Ueber die Bedeutung der Cuticularisirung der Zellhäute für gewisse physiologische Vorgänge vergleiche die neunzehnte Vorlesung.

Man darf sich nicht dadurch irre machen lassen, dass in der neuern Chemie unter „Fettsäuren“ oder „der Fettsäure-Reihe angehörig“ Substanzen bezeichnet werden, die zum Theil die Zusammensetzung eines Kohlehydrats, wie die Essigsäure $= C_2H_4O_2$ haben, oder selbst noch sauerstoffreicher als Kohlehydrate, wie die Ameisensäure $= CH_2O_2$ sind. Diese Substanzen sind nur die niedrigsten Glieder einer homologen Reihe, deren höhere Glieder die Zusammensetzung der Fette in unserm Sinn zeigen, und die nur diesen zu Liebe, mit denen sie *Constitutions-Aehnlichkeiten* besitzen, „Fettsäuren“ genannt worden sind.

Es ist dies ein Sprachgebrauch, der in der *reinen Chemie*, ebenso wie die früher besprochene chemische Definition des Wortes „organisch,“ vertheidigt werden kann und mag; wir, die wir nichts mit der Constitution der Körper als solcher zu thun haben, müssen bei dem alten Sinne des Wortes „Fett“ stehen bleiben, und der schliesst (neben manchem Anderen) die relative *Sauerstoffarmuth* ein.

Ich führe dies an, weil die entsprechenden Verwechslungen bereits sich geltend gemacht und einiges Unheil *) angestiftet haben. Es gibt Glieder der Fettsäurereihe, die niemals zu den Fetten im physiologischen Sinne gerechnet werden dürfen und wieder Körper, die keine dieser Fettsäuren in sich enthalten, doch aber eigentliche Fette sind.

Neben der relativ grossen Sauerstoffarmuth sind für die Fette eine Reihe von leicht festzustellenden Eigenschaften charakteristisch, die es bewirken, dass auch der Nichtchemiker einen fast in allen Fällen zutreffenden Begriff von einem Fette hat. Diese Stoffe sind alle entweder flüssig und heissen in diesem Falle fette Oele oder leicht schmelzbar (unter dem Kochpunkt des Wassers), specifisch leichter wie Wasser und vollkommen unlöslich in demselben; sie sind alle in Aether, zum Theil auch in Alkohol löslich, nicht unzersetzt flüchtig und riechen bei der Zersetzung eigenthümlich und unangenehm und sind schliesslich mit leuchtender Flamme brennbar, wenn man sie bis zur Entwickelung von Gasen erhitzt.

Die Fette sind (wenn wir die denselben verwandten Wachse vorerst bei Seite liegen lassen) sammt und sonders Verbindungen einiger wenigen Säuren der Fettsäure-Reihe und einiger Säuren einer andern Reihe mit Glycerin und werden desshalb auch als *Glyceride* bezeichnet.

Das Glycerin oder Oelsüss spielt also in den Verbindungen, die wir Fette nennen, die Rolle einer Basis und zwar einer dreiatomigen Basis, in der (wie man in der Sprache der Chemie sich ausdrückt) ein, zwei und drei Atome Wasserstoff durch die Radicale der genannten Säuren ersetzt werden können. Es entstehen so *Mono-*, *Di-* und *Triglyceride*, die auch nach dem Namen der eintretenden Säure

*) So glaubt man häufig, wenn man von den physiologisch interessanten genetischen Beziehungen der Kohlehydrate zu den Fetten handelt, eine derartige Beziehung schon gefunden zu haben, wenn nur der mögliche Uebergang eines Kohlehydrates in ein niedriges Glied der Fettsäurereihe behauptet wird, was ohne Reduktionsprocess geschehen kann, während zum Uebergang in wirkliche Fette die Annahme tiefer eingreifender Reduktionsvorgänge unerlässlich ist. Auch die Irrthümer der nun verlassenen Fettbildungstheorie im Thierkörper sind theilweise die Folgen der Leichtfertigkeit, mit der man derartige Reduktionen ad libitum vor sich gehen lässt.

Mono-, *Di-* oder *Tri-Stearin-*, *Mono-*, *Di-* oder *Tri-Oleïn* genannt werden. Je nach dem Charakter des eintretenden Fettradicals sind dann die so entstehenden Verbindungen flüssig und heissen dann fette Oele, oder fest und heissen dann schlechtweg Fette.

Alle diese Glyceride lassen sich nun durch die Einwirkung stärkerer Basen, als das Glycerin ist, zersetzen, und es resultirt dann eine Verbindung jener Säuren mit der stärkeren Basis und freies Glycerin, das in Wasser löslich ist. Als solche stärkere Basen können dienen: unsere fixen Alkalien, Kali oder Natron, oder auch die alkalischen Erden, und in diesem Falle heisst der erwähnte Process — ein Verseifungsprocess, der neuentstehende Körper, der aus fixem Alkali und der fettbildenden Säure besteht, — eine *Seife*. Die Seifen des gewöhnlichen Lebens sind solche Verbindungen.

Das Glycerin zeigt eine Zusammensetzung, die in der Chemie durch die Formel $C_3 H_8 O_3$ ausgedrückt wird, ist also schon an sich eine sauerstoffärmere Substanz als ein Kohlehydrat. Weit weniger Sauerstoff enthalten indessen die Säuren, die sich an der Fettbildung betheiligen. Als solche sind für uns von hervorragender Bedeutung:

Die Capronsäure von der Formel $C_6 H_{12} O_2$,
die Caprinsäure „ „ „ $C_{10} H_{20} O_2$,
die Laurinsäure „ „ „ $C_{12} H_{24} O_2$,
die Myristinsäure „ „ „ $C_{14} H_{28} O_2$,
die Palmitinsäure „ „ „ $C_{16} H_{32} O_2$,
die Stearinsäure „ „ „ $C_{18} H_{36} O_2$,
und die Cerotinsäure „ „ „ $C_{28} H_{54} O_2$,

aus der Fettsäurereihe und aus einer andern wasserstoffärmeren Reihe:

die Hypogaeasäure von der Formel $C_{16} H_{30} O_2$,
die Oelsäure „ „ „ $C_{18} H_{34} O_2$,
die Brassicasäure „ „ „ $C_{22} H_{42} O_2$;

und endlich eine Säure, die zur Zeit noch keine Homologen besitzt,

die Ricinölsäure von der Formel $C_{18} H_{34} O_3$.

Diese Säuren, deren grosse Sauerstoffarmuth den Kohlehydraten gegenüber klar ersichtlich ist, haben als solche fast vollständig noch die Eigenschaften der Fette, und dieselben sind mehr als das Glycerin als die Träger dieser Eigenschaften aufzufassen. Ich erinnere an die Stearinsäure, deren Verhalten ja Jedermann von den Stearinlichtern her, deren Masse aus dieser Säure besteht, bekannt ist.

Aus den Glyceriden dieser wenigen Säuren*) nun sind die Fette, die in der Pflanze vorkommen, alle zusammengesetzt, und zwar scheinen dieselben lauter Triglyceride zu sein von der Zusammensetzung:

$$\left.\begin{matrix} 3(C_{18} H_{35} O) \\ C_3 H_5 \end{matrix}\right\} O_3, \quad \left.\begin{matrix} 3(C_{18} H_{33} O) \\ C_3 H_5 \end{matrix}\right\} O_3, \quad \left.\begin{matrix} 3(C_{16} H_{31} O) \\ C_3 H_5 \end{matrix}\right\} O_3.$$

Tristearin. Trioleïn. Tripalmitin.

Nun darf man sich aber nicht denken, als seien diese einzelnen Glyceride für sich getrennt in den Pflanzen enthalten, ähnlich wie wir Ablagerungen von einzelnen

*) Andere Glyceride kommen jedenfalls nur in ganz untergeordneten Mengen vor.

Kohlehydraten in verhältnissmässiger Reinheit in denselben antreffen; — Dies ist durchaus nicht der Fall; überall, wo wir einem Fette oder fetten Oele in der Pflanze begegnen, da haben wir es auch mit einem mehr oder minder complicirten Gemische von jenen verschiedenen Glyceriden zu thun, — da gelingt es auch, durch chemische Operationen mehrere der genannten Säuren aus den Fetten abzuscheiden.

So enthält z. B. die sogenannte Muskatbutter, ein Fett, das aus den Nüssen von Myristica moschata gewonnen wird, vorzugsweise Myristinsäure- und Oelsäure-Glycerid, das Lorbeeröl (aus den Früchten von Laurus nobilis) Laurinsäure- und Oelsäure-Glycerid und das Palmöl vorherrschend Palmitinsäure- und Oelsäure-Glycerid.

In dieser Weise sind alle Fette, die man in den Pflanzen findet, aus mehreren Glyceriden gebildet, und je nachdem mehr von dem einen oder dem andern in einem solchen rohen Pflanzenfette vorhanden ist, nimmt dasselbe eine feste oder mehr flüssige Gestalt an, wobei bemerkt werden muss, dass die Fette einander zu lösen fähig sind, und dass die Gemische dabei einen intermediären Schmelz, resp. Erstarrungspunkt*) anzunehmen vermögen. Vorherrschend scheint immer das Triolein in den Pflanzenfetten vorzukommen; dasselbe ist bei gewöhnlicher Temperatur flüssig, erstarrt erst unter 0°**), während die beiden andern am häufigsten vorkommenden Fette, das Tripalmitin und das Tristearin im reinen Zustande bei gewöhnlicher Temperatur fest sind.

Es hat nun natürlich für unsern Zweck wenig Interesse, das Vorkommen der einzelnen Fette in den verschiedenen Pflanzen aufzuzählen; vielfach deutet auch schon der Name der aus den Fetten dargestellten Säuren dieses Vorkommen an.

Was das Vorkommen der Fette in den einzelnen Organen der Pflanzen betrifft, so haben wir schon bei früherer Gelegenheit einige Andeutungen gegeben. Es lässt sich sagen, dass die Fette eine der des Rohrzuckers und Inulin's ganz analoge Rolle im Pflanzenleibe spielen, sie dienen wie diese Kohlehydrate fast ausschliesslich als Reservestoffe. Nur in seltenen Fällen (bei den Cacteen und einigen andern) findet sich Fett unter so unzweideutigen Umständen in der chlorophyllhaltigen Zelle vor, dass es als direktes Assimilationsprodukt angesprochen werden muss, und obgleich man fettartigen Substanzen vielleicht ***) auch die beschränkte Befähigung, als wandernder Nährstoff aufzutreten, zugestehen muss, so ist doch seine Rolle als Reservestoff die einzige von Belang.

Wir können nun den Fettkörpern die Anerkennung nicht versagen, dass sie zu Reservestoffen ganz besonders geeigenschaftet erscheinen. Dieselben sind gleichsam concentrirte organische Substanz, denn aus 884 Gewichtstheilen Triolein z. B. können durch Oxydation 1710 Gewichtstheile Glycose entstehen, also beinahe das Doppelte; nach der Gleichung $C_{57}H_{104}O_6 + 5H_2O + 46O = C_{57}H_{114}O_{57}$, in der auf rationelle Formeln natürlich Verzicht geleistet ist.

*) Auf dieser Eigenthümlichkeit, die auch den Säuren der Fette zukommt, beruht es ja bekanntlich, dass man lange Zeit ein Gemisch der Stearin- und Palmitinsäure als ein chemisches Individuum „die Margarinsäure" auffasste und beschrieb.

**) Nach Berthelot allerdings schon 10° über Null.

***) Die Gründe, die J. Sachs (siehe dessen Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 378) für die Annahme anführt, scheinen mir übrigens keineswegs genügend zu sein.

Als anderes Vorkommen in ausgedehnterem Masse, neben ihrem Auftreten in den Reservestoffbehältern, ist für die Fette etwa noch zu verzeichnen, das Vorkommen in dem Fleisch einiger Früchte, das, wie wir früher hervorgehoben haben, niemals zur Ernährung in einer spätern Periode sich entwickelnder Organe benutzt werden kann. — Wir haben auf den indirekten Nutzen, den derartige Ablagerungen von organischen Stoffen für die Pflanzen bieten müssen, schon einmal früher (p. 88 Anm.) hingedeutet. — So wird z. B. das Olivenöl, das Palmöl u. a. m. nicht aus dem Samen, sondern aus dem diesen umschliessenden Fruchtfleisch und den grünen Samenschalen der betreffenden Pflanzen gewonnen.

Noch auf eine andere Gesetzmässigkeit in der Vertheilung der Fette im Pflanzenorganismus, deren Sinn wir allerdings zur Zeit noch nicht zu deuten verstehen, möchte ich hinweisen, nemlich, dass diese Stoffe nicht (oder nur in ganz untergeordneten Mengen) in *denjenigen Reservestoffbehältern*, deren Inhalt für die wieder erwachende Vegetation eines mehrjährigen Gewächses bestimmt ist, zu finden sind, sondern beinahe ausschliesslich in jenen andern, welche die Nahrung für ein ganz neu sich entwickelndes Pflanzenindividuum bergen. Das heisst mit andern Worten, wir finden die Fette mehr in den Geweben des Samens und kaum in den Knollen, Wurzeln und dem Holze, wo die Reservestoffe für die neu sich entfaltenden Knospen in Form von Kohlehydraten aufgespeichert sind.

An diese Bemerkung mag sich gleich die andere anschliessen, dass in den Samen und den Früchten der Gewächse der heisseren Klimate die fettigen Substanzen ein grösseres Uebergewicht erlangen, als in denen der kalten und gemässigten Zone.*)

Wie die Fettkörper die Rolle von Reservestoffen zu übernehmen vermögen, wird uns klar, wenn wir uns der früher ausführlich behandelten Umwandlungsfähigkeit der Fette in Kohlehydrate und umgekehrt im pflanzlichen Organismus erinnern. Eine *chemische* Theorie dieser Umwandlungsfähigkeit ist nicht vorhanden. Wir sind auch nicht annähernd im Stande, *im Laboratorium* etwas Aehnliches zu erreichen. Namentlich haben wir auch gar keine Vorstellung davon, ob und welche Uebergangsformen bei dieser Umwandlung durchlaufen werden müssen.

Ganz nahe an die Fette schliessen sich in chemischer Beziehung die *Wachsarten* an. Diese sind wie jene ausserordentlich sauerstoffarme Verbindungen und haben auch Eigenschaften, die sie jenen sehr nahe stellen; sie sind jedoch nicht Glycerinverbindungen, sondern Verbindungen derselben Säuren, die auch in die Zusammensetzung der Fette eingehen, mit weit sauerstoffärmeren basischen Stoffen, dem Cetylalkohol $C_{16}H_{34}O$ und dem Myricylalkohol $C_{30}H_{62}O$.

Diese Wachse sind im Pflanzenreich sehr weit verbreitet, kommen aber meistens nur in zurücktretender Menge vor.**) So enthält die Cuticula der Pflanzen kleine Mengen von Wachs, ebenso das Chlorophyllkorn, und wenn man grüne

*) Eine Erscheinung, die voraussichtlich mit der grösseren Intensität des Reduktionsprocesses bei grösserem Reichthum an Wärme und Licht in Beziehung steht.

**) Einige Gewächse, die Wachspalme (Ceroxylon Andicola) und Myrica cerifera (in den Beeren) produciren grössere Mengen dieses Stoffs. (Vergl. Boussingault: Die Landwirthschaft etc. deutsch. 1844. I. p. 237—8.)

Pflanzentheile zur Gewinnung des Chlorophyllfarbstoffs mit Aether behandelt, dann erhält man auch stets nicht unbedeutende Mengen von Wachs in einem solchen Auszug.

Niemals kommen aber die Wachse als Reservestoffe vor, noch scheinen sie die Fähigkeit zu haben, von dem protoplasmatischen Pflanzensafte wieder resorbirt werden zu können; und denselben ist mithin nur eine, vielleicht nicht ganz untergeordnete Bedeutung als Baustoff*) zuzuschreiben, aber dieselben sind wohl ganz und gar unfähig, einer Neuentwickelung als plastisches Material zu dienen.**)

Alle übrigen Stoffe, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt sind und in dem lebenden Pflanzenkörper gefunden werden, stehen noch in ganz unaufgeklärter Beziehung zu dem Lebensprocesse, der sich in demselben abwickelt, oder können geradezu als Verbindungen bezeichnet werden, die zwar in fast manchen Pflanzen ziemlich regelmässig Entstehung nehmen, deren Nichtvorhandensein aber keinerlei Schädigung des Organismus herbeiführen würde. Dieselben werden aus diesem Grunde eine noch skizzenhaftere Behandlung erfahren, als die Stoffe, von denen wir eben gesprochen haben.

Es sind etwa folgende Gruppen abzuhandeln: *Die Harze- und Kautschukkörper*, die eine grosse technische Bedeutung haben, im Haushalte der Pflanze aber entbehrlich erscheinen, die *ätherischen Oele*, die *Farb-* und *Bitterstoffe* (soweit sie stickstofffrei sind), die *Glucoside*, die *Gerbstoffe*, die *Pektinstoffe* und die *Pflanzensäuren*; — kurz eine ganze Reihe von verschiedenen und zum Theil chemisch interessanten Stoffen, durch die wir uns indessen möglichst rasch hindurchzuwinden beabsichtigen.

Die *Harze* haben eine Zusammensetzung, die den Fetten nahekommt; sie sind ebenso sauerstoffarm, aber noch etwas wasserstoffärmer als jene. Viele aus denselben dargestellte chemisch reine Substanzen haben die Formel $C_{20}H_{30}O_2$ und andere Formeln, die sehr ähnliche relative Verhältnisse ausdrücken. Dieselben entstehen theilweise durch Oxydation der ätherischen Oele; mit diesen gemischt heissen sie *Balsame*.

Die Harze sind niemals als Baustoffe der Pflanze, sondern wohl sammt und sonders als Excrementalstoffe derselben aufzufassen. Dieselben sammeln sich in, zu sogenannten Harzgängen erweiterten, Intercellularräumen in grossen Mengen an und quellen auch häufig wie die Gummiarten aus der Pflanze aus, oft sogar gleichzeitig und gemengt mit diesen, in welcher Mischung man sie als *Gummiharze* bezeichnet. Ob dieselben aber wie jene metamorphisirte Gebilde der Zellhaut sind und durch Resorption von Gewebetheilen entstehen, ist mehr als zweifelhaft***); sie scheinen vielmehr (und ebenso die gleich zu erwähnenden ätherischen Oele) wie die Fette

*) Das Wachs als Bestandtheil der Cuticula hat offenbar eine Bedeutung wegen der hierdurch bewirkten Eigenschaftsänderung der Zellhaut; vergl. die neunzehnte Vorlesung.

**) Ob die Wachse ihren Ursprung aus der Zellhaut ableiten, oder von dem Protoplasma ausgeschieden werden, ist eine Streitfrage, auf die wir nicht einzugehen beabsichtigen.

***) Vergl. die Abhandlung von N. J. C. Müller: Pringsheim, Jahrb. V. p. 387 bis 421; daselbst auch viele Angaben über sonstige Litteratur.

innerhalb der noch lebhaft vegetirenden Zellen aufzutreten *) und durch die Zellhaut abgeschieden zu werden. Weiter deutet das *ganz regelmässige* Auftreten von Harzbildung und von ätherischen Oelen in manchen Pflanzenarten, das nur *gelegentliche* der Gummiausschwitzungen, welches den Stempel einer pathologischen Erscheinung an sich trägt und dem entsprechend auch als „Gummosis" bezeichnet wird, darauf hin, dass beide Vorgänge einander nicht analog sind.

Bei der Entstehung von Harzen aus Stärkemehl oder einem in Zellsaft gelösten Kohlehydrat muss ein Reduktionsprocess, also nach den früher auseinandergesetzten Principien die gleichzeitige Bildung einer hochoxydirten Kohlenstoffverbindung, jedenfalls von Kohlensäure, (da wir keine solche hochoxydirte Substanz in dem Sitz der Harzbildung nachzuweisen vermögen) stattfinden. Bei den Harzen, die unmittelbar aus ätherischen Oelen durch Oxydation entstanden sind, müssen *diese* durch einen solchen Reduktionsprocess Entstehung genommen haben.

Der *Kautschuk* und die *Gutta-Percha* **) sind Substanzen, die ihrer Zusammensetzung nach den Harzen sehr nahe stehen; sie sind jedoch *völlig* sauerstofffrei; man gibt ihnen die Formel $C_4 H_7$ und $C_{10} H_{16}$. Dieselben finden sich in den sogenannten *Milchsaftgefässen,* namentlich von Euphorbiaceen und Urticeen; z. B. der Kautschuk in der als modische Zierpflanze genugsam bekannten Ficus elastica***), die Gutta-Percha in Ysonandra Gutta†). Auch sie werden vielfach als Auswurfstoffe angesehen ††), obschon der Milchsaft, in dem sie vorkommen, nachgewiesener Massen zur Ernährung junger sich entfaltender Organe dient.

Ueber die Bildungsweise der beiden Körper ist nichts bekannt.

Die *ätherischen Oele* sind es, welche grossentheils die eigenthümlichen Gerüche der Pflanzen bedingen. Dieselben sind schon in sehr geringen, unbestimmbaren Mengen im Stande, den Pflanzentheilen, in denen sie enthalten sind, intensive und charakteristische Gerüche zu ertheilen. Diese Substanzen sind entweder ganz sauerstofffrei, also *reine Kohlenwasserstoffe* oder doch sehr sauerstoffarm; sie sind meistens flüssig, zum Theil auch fest (und werden dann gewöhnlich Campher genannt) und sammt und sonders leicht flüchtig (was schon aus der Eigenschaft einen Geruch zu verbreiten hervorgeht); namentlich tritt diese Flüchtigkeit hervor in einer Atmosphäre von Wasserdampf.

Die sauerstofffreien ätherischen Oele haben entweder die Zusammensetzung $C_{10} H_{16}$, wie das *Terpentinöl, Hopfenöl, Citronenöl* oder die Zusammensetzung $C_n H_{2n}$.

---

*) Vergl. übrigens auch die Ausführungen Wiesners in dessen Buch: Die Gummiarten, Harze etc. 1869 p. 69.

**) In Bezug auf die chemischen Eigenschaften dieser Stoffe muss ich auf die Lehrbücher der organischen Chemie verweisen.

***) In grösseren Mengen ausserdem noch aus zwei Siphonia-Arten; vergl. Payen: Techn. Chemie etc. deutsch v. Stohmann und Engler I. p. 168.

†) Aus der Familie der Sapotaceen.

††) Vergl. J. Sachs: Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 386. Mit welchem Rechte? — weiss ich nicht. Die Klärung des Milchsafts nach dessen Verwandlung zur Ernährung spricht dagegen; oder sollte diese nur durch Verbrauch der im Milchsafte enthaltenen Proteinstoffe stattfinden?

Die sauerstoffhaltigen ätherischen Oele haben ziemlich verschiedene Zusammensetzung, aber auch bei ihnen kommen Ysomerien vor. Der Campher und das Wermuthöl haben die Formel $C_{10}H_{16}O$; andere sind etwas wasserstoffreicher, manche viel wasserstoffärmer.

Ueber die Entstehungsweise der in diese Gruppe gehörigen Stoffe ist wenig bekannt. Die Bildung derselben kann jedenfalls in sehr verschiedenen Pflanzen und Pflanzentheilen vor sich gehen. Manche Pflanzen, die sich durch die Bildung solcher Stoffe auszeichnen, kommen nur in heissen Klimaten vor, wie z. B. die Campher-bildenden Gewächse Laurus Camphora und Dryobalanops Camphora; bei andern Pflanzen nimmt man an, dass sie hauptsächlich an kalten Orten die Fähigkeit besitzen, solche ätherische Stoffe zu erzeugen, an warmen Orten üppiger gedeihen, aber ihren gewürzhaften Geruch *) einbüssen.

In Bezug auf den Vorgang, durch den die ätherischen Oele Entstehung nehmen, ist in gewissen Fällen auf die Gemeinschaftlichkeit ihres Ursprungs mit den Harzen hinzuweisen; doch lässt sich auch hier wenig mit Sicherheit behaupten. Wohl aber kann man annehmen, dass dieselben wie die Harze mit ihrer Ausscheidung unfähig werden, der Pflanze *direkten Nutzen* zu bringen, dass sie mit andern Worten nicht wieder vom Zellsaft aufgenommen und neu verarbeitet werden können. — Man könnte also auch von den ätherischen Oelen ruhig als Excrementen der Pflanze reden, wenn wir uns nicht gewöhnt hätten, mit diesem Ausdruck den Begriff der *mechanischen Ausscheidung* eines Stoffes, wie es bei Harzen und Gummi in der Regel stattfindet, zu verbinden. Man kann sich daher damit begnügen, zu sagen, dass die ätherischen Oele Substanzen der Rückbildung oder des rückgängigen Stoffwechsels sind, — eine Ausdrucksweise, die so lieblichen Substanzen gegenüber, wie sie die ätherischen Oele grossentheils darstellen, jedenfalls angemessener klingt **). Uebrigens kommt dem Worte *Excret* für die Pflanze und namentlich die höhere Pflanze, keine so bestimmte Bedeutung zu, wie für den thierischen Organismus und ist als eine ziemlich unpassende Uebertragung einer Bezeichnung aus dem einen Reich in das andere anzusehen.

Die *Pflanzenfarbstoffe*, die, wie ein Blick auf die bunte Blumenwelt lehrt, einer sehr grossen Verbreitung sich erfreuen, wenn auch die meisten derselben nur in sehr geringen Mengen in der Pflanze auftreten, sind grossentheils noch sehr wenig ihrem chemischen Verhalten nach gekannt, aber wohl keinenfalls als eine ihrer Constitution nach geschlossene Stoffgruppe anzusehen. Einem dieser Farbstoffe, dem Chlorophyll kommen, wie wir früher festgestellt haben, so lange er dem lebenden Protoplasma angehört, die tiefgreifendsten physiologischen Funktionen zu.

---

*) Uebrigens kann diese Anschauung auch auf einem Irrthum beruhen, da nicht alle Gerüche der Pflanzen auf ätherische Oele zurückgeführt werden dürfen. Bekanntlich spielen auch die „Aether“ in dieser Richtung eine hervorragende Rolle.

**) Einen indirekten Vortheil möchte die Bildung der stark duftenden Kohlenwasserstoffe insofern für manche Pflanzen haben, als hierdurch Insekten, die, wie wir wissen, zur Befruchtung mancher Blüthen unentbehrlich sind, angelockt werden können, natürlich aber dauernd nur dann, wenn die duftenden Blüthen auch zugängliche Nahrung für die Insekten enthalten.

Von der Rolle, die andere Farbstoffe in den Pflanzen etwa spielen, ist *durchaus Nichts* bekannt. Ein ganz direkter Nutzen, wie ihn der Chlorophyllfarbstoff für die lebende Pflanze zu bringen vermag, kann von den andern kaum erwartet werden. Für fluorescirende Farbstoffe, die neben dem Chlorophyll sich in den Sauerstoff-ausscheidenden Organen sich befinden, kann in manchen Fällen ein ähnlicher indirekter Vortheil für die von diesen vollzogene Thätigkeit erwartet werden, wie wir ihn früher für den fluorescirenden Chlorophyllfarbstoff in zweiter Linie als wahrscheinlich hervorgehoben haben.

Die Bildungsweise der verschiedenen Farbstoffe der Pflanze ist ebenso sehr in Dunkel gehüllt, wie die der gerade vorher abgehandelten Substanzen. *Vom Lichte* ist wenigstens die Ausbildung der Blüthenfarbstoffe, soweit man in dieser Richtung Untersuchungen angestellt hat, *völlig unabhängig*. Die einmal gebildeten Farbstoffe können wohl von den Pflanzen nicht wieder aufgenommen und verarbeitet werden; dieselben wären also auch als Endprodukte des Stoffwechsels anzusehen.

In manchen Pflanzen, namentlich auch in einigen Kryptogamen (Flechten) bilden sich Farbstoffe und sogenannte Chromogene *) in grösseren Mengen, und gestatten in vielen Fällen die ausgedehnteste technische Benutzung für die Zwecke der Färberei; ich nenne die Orseille, den Lakmus, den Orlean, das Indican. Ein Theil dieser Stoffe ist übrigens stickstoffhaltig.

Bisher erschien es nicht ausführbar, die Pflanzenfarbstoffe künstlich darzustellen; für einen der bekanntesten und technisch wichtigsten, für das Alizarin, ist dies indess vor kurzer Zeit **) gelungen.

Für unsere Zwecke hat es keinen Werth, näher auf die Zusammensetzung der Pflanzen-Farbstoffe und Chromogene, sowie auf die Nennung und Beschreibung der sie erzeugenden Pflanzen einzugehen. Es lässt sich nicht einmal etwas Allgemeines über den relativen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalt dieser Stoffe sagen, ausser, dass für die meisten ein relativ hoher Kohlenstoffgehalt (höher als bei Kohlehydraten) bei ziemlich schwankendem Wasserstoff- und Sauerstoff-Gehalt charakteristisch ist.

Ueber die *Bitterstoffe* ***), die sich in mancher Hinsicht eng an die eben behandelte Gruppe anschliessen, wollen wir noch schneller hinweggehen. Wir kennen von den meisten von ihnen nur die ungefähre chemische Zusammensetzung, und die Thatsache, dass sie in gewissen Pflanzen gebildet werden, aber weder die Theorie dieser Bildungsweise, noch ihre Funktion in dem Pflanzenorganismus. Auch diese Stoffe sind relativ kohlenstoffreich und ziemlich sauerstoffarm.

Die *Glucoside* sind wenigstens eine chemisch etwas besser untersuchte Gruppe, die auch in der Pflanzenwelt in ziemlicher Verbreitung †) sich findet. Es lässt sich

---

*) Stoffe, die durch eine leicht herbeizuführende chemische Aenderung (Oxydation, Gährung) in Farbstoffe sich verwandeln.

**) Gräbe u. Liebermann: Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch. 1869 p. 332.

***) Nicht alle bittern Stoffe der Pflanze sind Bitterstoffe; so haben viele Alkaloide (stickstoffhaltige Pflanzenbasen) einen sehr bittern Geschmack.

†) Rochleder nimmt (vergl. dessen Phytochemie 1854 p. 326) eine ganz allgemeine Verbreitung dieser Stoffe, die er „Glucosenide" nennt, in allen Pflanzen an und vindicirt

für dieselben ein ihnen allen gemeinschaftliches chemisches Verhalten angeben, das darin besteht, dass sie sich leicht unter Aufnahme von Wasser in Traubenzucker (oder einen andern Zucker) und einen andern Körper zerspalten. Auch ein Theil der *Farbstoffe, Bitterstoffe* und *Gerbstoffe* scheint zugleich in diese Gruppe zu gehören und eine analoge Constitution zu besitzen; und je weiter die chemischen Untersuchungen fortschreiten, um so mehr von diesen Stoffen entpuppen sich als Glucoside.

Die bei der Zersetzung der Glucoside neben den Zuckern auftretenden Stoffe gehören sehr verschiedenen Gruppen an, sind zum Theil auch stickstoffhaltig, und so sehen wir unter den Glucosiden auch stickstoffhaltige Körper, wie das Amygdalin eingereiht.

Als hervorragende Glucoside wären zu nennen, das in der Weidenrinde auftretende *Salicin*, das sich unter Einwirkung von Fermenten in *Saligenin* und Zucker zerspaltet nach der Gleichung:

$$C_{13}H_{18}O_7 + H_2O = C_7H_8O_2 + C_6H_{12}O_6,$$

das *Phloridzin* ($C_{21}H_{24}O_{10}$), das in den Rinden unserer gewöhnlichen Obstbäume vorkommt und eine ganz ähnliche Zersetzung erleidet, das *Aeskulin* ($C_{21}H_{24}O_{13}$), jener stark fluorescirende Bestandtheil der Kastanienrinde, der auch bei einer gewissen Behandlung Zucker abscheidet.

Aus dieser allgemeinen Eigenschaft der in Rede stehenden Stoffgruppe, Zucker von der Zusammensetzung $C_6H_{12}O_6$, also Glycose*) abzuspalten, erklärt sich der Name Glucoside.

Von der Bildungsweise dieser Stoffe ist nichts bekannt; nur deutet ihre *nahe chemische Beziehung* zu den wichtigsten Kohlehydraten darauf hin, dass eine Wiederverwendung wenigstens des einen Theils der einmal in Form von Glucosiden vorhandenen organischen Substanz stattfinden kann, so dass sie also unter gewissen Umständen als wahre Reservestoffe betrachtet werden können, die bei einem neu beginnenden Vegetationsprocess Zerfall erleiden und dadurch den Keim oder Spross mit Bildungsmaterial versorgen. **)

Die *Gerbstoffe* oder *Gerbsäuren* sind in der Pflanzenwelt weit verbreitete Substanzen, die kohlenstoffreicher, aber zugleich auch sauerstoffreicher (in Bezug auf den Wasserstoff) sind als die Kohlehydrate. Dieselben finden sich namentlich in den Rinden vieler Bäume, oft gleichzeitig mit den Harzen, dann auch vorzugsweise in den durch Insektenstiche erzeugten abnormen Wucherungen und Auswüchsen mancher Gewächse, wie z. B. den Galläpfeln, die ja ein Hauptmaterial zur Gewinnung der genannten Stoffe bilden. In geringeren Mengen findet man dieselben auch in den meisten andern Pflanzentheilen, in Blättern, Früchten, Wurzeln u. s. w., auch häufig in gekeimten Samen, die ursprünglich keine enthielten. Der zusammenziehende Geschmack, namentlich mancher Beeren, wie z. B. der Heidelbeeren, Preisel-

---

denselben eine tiefgehende physiologische Bedeutung, die wenigstens in seinem Sinne heute als widerlegt angesehen werden kann.

*) Oder Glucose.

**) Wir werden später in der dreizehnten Vorlesung auf eine Thatsache stossen, die dieses Verhalten einiger Glucoside wahrscheinlich macht.

beeren, aber auch mancher Obstsorten, besonders der unkultivirten (Holzäpfel) rührt von dem bedeutenden Gehalt an Gerbstoffen her.

Einige charakteristische chemische Reaktionen der Gerbstoffe sind allgemein bekannt, die dunkeln Färbungen, die sie mit Eisensalzen geben, und worauf die Darstellung der Dinte beruht, und ausserdem die Eigenschaft, mit dem leimgebenden Gewebe der thierischen Haut und den Proteïnstoffen derselben durchaus unlösliche und schwer zersetzbare (der Fäulniss nicht unterworfene) Verbindungen zu bilden, die wir im ersteren Falle *Leder* nennen und denen eine so hervorragende technische Bedeutung zukommt.

Der verbreitetste Gerbstoff, die *Gallusgerbsäure* oder *das Tannin* ($C_{27} H_{22} O_{17}$) ist wahrscheinlich den Glucosiden zuzuzählen, da sie leicht unter dem Einfluss verschiedener Agenzien unter Wasseraufnahme in Gallussäure ($C_7 H_6 O_5$) und Glycose zerfällt. Eine ähnliche Spaltung ist auch für andere weniger verbreitete Gerbsäuren nachgewiesen.

In Bezug auf die Rolle dieser Substanzen im Pflanzenorganismus, sowie auf die Wiederverwendbarkeit in demselben wird daher das Gleiche ausgesprochen werden können*), was wir vorhin für die Glucoside bemerkt haben.

Die *Pektinstoffe* sind ihrer empirischen Zusammensetzung nach ziemlich ähnlich den Gerbstoffen, sind aber Substanzen von ganz andern Eigenschaften. Sie sind wie diese sauerstoffreicher und zugleich kohlenstoffreicher (also wasserstoffärmer) als die Kohlehydrate, stehen aber diesen dem relativen Verhältniss der einzelnen Stoffe nach näher. Die Pektinstoffe, welche zum Theil saure Beschaffenheit zeigen, sind besonders in fleischigen Wurzeln und den Früchten enthalten und veranlassen die Geléebildung vieler Fruchtsäfte beim Einkochen **).

Nach neueren Untersuchungen***) können die verschiedenartigen Pektinstoffe, die wir in den Pflanzen finden, vielleicht auf die Formel $C_8 H_{10} O_7$ zurückgeführt werden, indem man verschiedene Mengen von Wasser zu derselben addirt. Eine Beziehung dieser ihrer chemischen Constitution nach noch sehr wenig aufgeklärten Substanzen zu den Kohlehydraten ist nicht bekannt, und ebensowenig haben wir Andeutungen über ihre Entstehungsweise in den Pflanzen. †)

Die *Pflanzensäuren* endlich sind *chemisch wohlstudirte* und ihrer Natur nach bekannte Körper. Dunkler ist ihre Beziehung zum Pflanzenorganismus. — Wir haben schon früher einmal davon gesprochen, dass eine Zeitlang die Meinung herr-

---

*) Natürlich nur, soweit sie sich als Glucoside entpuppen. Für die Gallussäure, welche wir ja gerade eben als das Spaltungsprodukt der gewöhnlichen Gerbsäure kennen gelernt haben, die aber auch schon als solche im Pflanzenorganismus auftritt und doch ebenso wie jene als ein Gerbstoff bezeichnet wird, kann natürlich die gemachte Bemerkung niemals gelten.

**) Das Weichwerden der Früchte beim Reifen soll auf einer Veränderung der Pektinstoffe beruhen.

***) Fremy (vergl. Heiden: Düngerlehre I. p. 24).

†) Nach Wiesner, Kabsch und Vogl ist die Intercellularsubstanz Sitz der Pektinstoffe und sind diese ähnlich wie das arabische Gummi ein Umsetzungsprodukt der Zellhäute. Vergl. Jahresber. f. Agrikulturchemie 1865 p. 129.

schend war, man habe es in diesen relativ hochoxydirten Substanzen mit Uebergangsstufen zwischen dem anorganischen Material, Kohlensäure und Wasser und den Kohlehydraten bei der Produktion von organischer Substanz zu thun. Man dachte sich, dass bei dem Reduktionsprocess, den die grüne Pflanze in sich vollzieht, nicht gleich die sauerstoffärmeren Substanzen entstehen sollten, sondern dass dabei verschiedene intermediäre Stadien durchlaufen werden müssten, als welche man die Pflanzensäuren anzusprechen geneigt war *) **). — Diese Hypothese stand im Zusammenhang mit einer Theorie der Wirksamkeit derjenigen anorganischen Basen, deren Unentbehrlichkeit für die Pflanzen wir bald zu beweisen haben werden.

So gut nun jene aufgestellte Hypothese diese Unentbehrlichkeit zu erklären schien, so musste dieselbe doch, als mit den zu beobachtenden Thatsachen nicht in Einklang stehend, ***) wieder verlassen werden. Als solche Thatsachen sind zu nennen, das unmittelbare Auftreten von Kohlehydraten in den Chlorophyllkörnern, die Vermehrung der Pflanzensäure der grünen Organe in der Nacht, wo gar keine Produktion stattfindet. †) ††)

Man hat wohl auf das anfängliche Ueberwiegen der Pflanzensäuren in reifenden Früchten, z. B. den Trauben aufmerksam gemacht, das bei der erfolgten Reife einem Zurücktreten dieser für unsere Zunge unliebsamen Stoffe gegen die Kohlehydrate Platz macht und das auf einen allmähligen Uebergang dieser Säuren in den sauerstoffärmeren Zucker durch einen continuirlichen Reduktionsprocess gedeutet werden sollte. — Es ist aber dabei weder der Beweis geführt worden, dass die relative Zunahme des Zuckers nicht auf Kosten der *Einwanderung* von Kohlehydraten vor sich gegangen sein kann, die Verminderung der Säuren während der Reife eine absolute ist, und übersehen worden, dass, wenn wirklich die absolute Abnahme dieser Stoffe mit genügender Sicherheit constatirt wäre, dieselbe zur Noth auf eine Auswanderung, auf eine Sättigung durch Basen †††) oder auf eine vollständige Verbrennung derselben zurückgeführt werden könnte. Es ist ferner bei jener Argumentation, die übrigens eigentlich nur von mit den anatomischen und physiologischen Verhältnissen wenig vertrauten Chemikern angestellt worden ist, ganz ausser Acht gelassen worden, dass man es in den Früchten, in denen man die genannten Reduktionsprocesse arglos

---

*) Vergl. J. Liebig: Die org. Chemie in ihrer Anwendung etc. 1843 p. 186—91; ebenso Rochleder: Phytochemie 1854. p. 321—324.

**) Dieselbe Anschauung auch noch in jetzt neu erscheinenden Werken, z. B. A. und F. Husemann: Die Pflanzenstoffe etc. Berlin 1870. p. 8.

***) So haben namentlich eine Anzahl hervorragender Botaniker, wie v. Mohl, Schleiden, Schacht u. A. Einsprache gegen dieselbe erhoben; vergl. Rochleder: Chemie u. Physiol. d. Pflanzen 1858. p. 108. Auch Davy hatte das sofortige Entstehen von Kohlehydraten angenommen.

†) Ganz abgesehen von den früher (vierte Vorlesung) hervorgehobenen Zahlen der relativen Kohlensäureaufnahme und Sauerstoffausgabe.

††) von Mohl hervorgehoben; vergl. die vegetab. Zelle 1851. p. 248.

†††) Für die Aepfelsäure bei herannahender Reife ist eine solche Sättigung behauptet worden; vergl. Gorup-Besanez: Org. Chemie 1862. p. 428; übrigens auch Landw. Versuchsst. 1865. p. 357.

vor sich gehen liess, selbst wenn sie eine durchaus grün gefärbte Schale haben sollten, unter allen Umständen mit sehr unvollkommenen Reduktionsapparaten zu thun hat, wie dies ohne allen Zweifel aus den mit Früchten angestellten Athmungsversuchen*) hervorgeht. Die in denselben verlaufenden Oxydationserscheinungen überwiegen gegen die Reife hin die Reduktionserscheinungen; und es bliebe daher Nichts übrig, als das Kohlehydrat durch Spaltung (partielle Reduktion) aus den Säuren entstehen zu lassen **), wobei dann gleichzeitig Kohlensäure entwickelt werden müsste. Für eine solche Spaltung von Pflanzensäuren in Kohlensäure und Zucker fehlt nun aber jede Analogie ausserhalb des Organismus, und sie im Pflanzenorganismus anzunehmen, heisst, wie aus dem eben Gesagten hervorgeht, eine vielleicht unzulässige, jedenfalls aber vorerst unnöthige Hypothese machen. ***) — Eine solche aber ist vom Uebel.

Wir haben daher, bis zwingende Beweise des Gegentheils vorliegen, uns die Pflanzensäuren, die wir in den verschiedenen Organen vorfinden, als durch *sekundäre Processe* entstehend zu denken, d. i. durch Oxydationsvorgänge der gebildeten organischen Substanz, der Kohlehydrate oder deren Umwandlungsprodukte.

Von den hochoxydirten Pflanzensäuren werden nun am Gewöhnlichsten die *Oxalsäure*, die *Ameisensäure*, die *Citronensäure*, die *Trauben-* und *Weinsäure* und die *Aepfelsäure* in der Pflanze angetroffen.

Die *Oxalsäure* (Kleesäure) ist wohl in den meisten Pflanzen, in denen man nach ihr gesucht hat, aufgefunden worden. Der uns Allen bekannte starksaure Geschmack des Sauerklees rührt von dem Gehalt an dieser Säure her. Ihre Zusammensetzung wird ausgedrückt durch die Formel $C_2 H_2 O_4$, dieselbe kann also bestehend gedacht werden aus Kohlensäure, Kohlenoxyd und Wasser, steht also hinsichtlich ihres Sauerstoffgehalts zwischen den Kohlehydraten und den anorganischen Rohmaterialien der Produktion von organischer Substanz, doch weit näher an diesen. Die Oxalsäure ist

*) Vergl. Compt. rend. T. 58. p. 495 u 653.

**) Die Zulässigkeit der Annahme einer solchen Spaltung für diesen speziellen Fall ist übrigens noch zweifelhaft, da man die relativen Verbrennungswärmen der Säuren und der Kohlehydrate noch nicht berücksichtigt hat, und so noch nicht festgestellt ist, ob der Vorgang mit Verlust an chemischen Spannkräften vor sich geht, wie dies für die Spaltung von Kohlehydrate in Fette und Kohlensäure gewiss ist.

***) Die von Beyer über das Reifen der Stachelbeeren mitgetheilten Versuche (vergl. Landw. Versuchsst. 1865. p. 355—362) scheinen zu zeigen (obgleich die Schlüsse des Versuchanstellers hiervon etwas abweichend sind), dass beim Reifen der Früchte wesentlich eine Einwanderung von Zucker eintritt und hierdurch die Säuren, Aschenbestandtheile, Proteïnstoffe eine gleichmässige relative Verminderung erleiden. — Nur die interessanten Veränderungen beim Nachreifen der abgeschnittenen Früchte, die von dem Versuchsansteller einer freilich nur andeutungsweisen Untersuchung unterworfen worden sind, lassen sich mit dieser Annahme nicht in Einklang bringen. Uebrigens fehlen auch hier alle absoluten Zahlenangaben, die man durch eine gleichzeitige Bestimmung des Durchschnittsgewichts der Früchte hätte erhalten können. Die von Bérard (vergl. Rochleder: Chemie u. Physiol. d. Pfl. 1859. p. 154) an Sommerpfirsichen, Reineclauden, Aprikosen, Stachelbeeren, Kirschen und Birnen angestellten vergleichenden Analysen im reifen und unreifen Zustande lehren keine absolute Säureverminderung kennen; und jedenfalls muss die daselbst constatirte Zukkervermehrung auf Kosten von andern Stoffen, vorzüglich Holzfaser vor sich gegangen sein, soweit sie nicht der Einwanderung von Kohlehydraten zugeschrieben werden kann.

Vergl. schliesslich die Untersuchungen über das Reifen d. Trauben: Weinlaube 1869 p. 312.

zweibasisch und eine sehr starke Säure, die hinsichtlich der Energie ihrer Affinitäten zu den Basen mit vielen mineralischen Säuren wohl zu concurriren vermag; sie kommt in der Pflanze gewöhnlich nicht frei, *) sondern an die Basen Kalk und Kali zu sauren Salzen gebunden vor.

Die *Ameisensäure*, das niedrigste Glied der Fettsäurereihe, hat die Formel CH_2O_2, kann also aus Wasser und Kohlenoxyd zusammengesetzt gedacht werden; sie ist daher sauerstoffärmer als die Oxalsäure.

Die Ameisensäure ist sehr viel seltner im Pflanzenreiche als diese letztere, kommt aber z. B. in den Fichtennadeln vor und scheint nur eine hervorragende Rolle in den Brennhaaren der Nesseln zu spielen, zu deren Wirksamkeit sie beiträgt.

Die *Traubensäure* und *Weinsäure* sind von der Formel $C_4H_6O_6$, also einander isomer und wieder etwas sauerstoffärmer als die eben genannte Säure. Dieselben unterscheiden sich nur durch ganz untergeordnete Eigenschaften, hauptsächlich durch die Unwirksamkeit der Traubensäure dem polarisirten Lichtstrahl gegenüber, während die Weinsäure die Polarisationsebene dreht. Beide sind äusserst verbreitet im Pflanzenreiche und finden sich gebunden an Kalk oder Kali in den Trauben und sonstigen Früchten, auch in andern Pflanzentheilen, meistens als saures Kalisalz.

Noch etwas sauerstoffärmer und darum den Kohlehydraten noch etwas näher stehend, sind *Citronensäure* und *Aepfelsäure* mit den Formeln $C_6H_8O_7$ und $C_4H_6O_5$. Die Citronensäure ist ausserordentlich verbreitet in dem Safte vieler Früchte, namentlich in den Citronen, aber auch in Zwiebeln, Knollen und manchen Blättern; sie ist dreibasisch und darum befähigt, saure Salze zu bilden, und solche sind es, die wir hauptsächlich in dem Safte jener Pflanzentheile antreffen.

Die Aepfelsäure soll namentlich in den unreifen Früchten, besonders in Aepfeln und Vogelbeeren angetroffen werden, findet sich aber auch in vielen andern Pflanzentheilen. Dieselbe scheint in den unreifen Früchten vorzugsweise als saures Salz vorhanden zu sein und beim Heranreifen dieser mehr und mehr durch Basen abgestumpft zu werden, worauf zum Theil auch das Zurücktreten des sauren Geschmacks im reifen Obst zurückgeführt werden kann.

Neben diesen weitverbreiteten Säuren werden nun auch noch in seltneren Fällen andere wie die *Akonitsäure*, die *Mekonsäure*, die *Chinasäure* u. a. m. in den grünen Pflanzen **) vorgefunden. Auch die *Essigsäure* ist unter Umständen in den Keimpflanzen vorgefunden worden.

Man wird — ich fühle es — durch den Ueberblick, den ich über die (lediglich aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzten) Bestandtheile der chlorophyllhaltigen Gewächse zu geben versucht habe, sehr wenig befriedigt sein. ***)

*) Frei in Boletus sulfureus.

**) Niedrige Pilze scheiden dagegen noch viele andere Säuren aus ihrem Leibe während des Vegetationsprocesses aus. Ich erinnere nur an die Bernsteinsäure, die Milchsäure.

***) Eine sehr vollständige Zusammenstellung der in den Pflanzen aufgefundenen und chemisch definirbaren organischen Stoffe bei Rochleder: Phytochemie 1854 p. 347—356.

Ich war gezwungen, eine Summe von Thatsachen mitzutheilen, die noch sehr unvollkommen und in vielen Fällen gar nicht mit unseren Theorien der Ernährung und des Stoffwechsels der Pflanzen in Beziehung gebracht werden konnten. Ich musste mich darauf beschränken, zu sagen, die und die Substanzen sind in den und den Organen der und der Pflanzenart gefunden worden, und nur selten konnte ich zugleich einen Blick eröffnen auf die Processe, durch die jene Substanzen am betreffenden Orte entstanden sind, in welcher Beziehung sie stehen zu den einzelnen Lebensvorgängen; — und selbst, wo dies zur Noth gelang, da war es nicht möglich, den Chemismus der erkannten Processe vollständig zu begreifen.

Die nackte Aufzählung von Thatsachen, wie ich sie in den meisten Fällen zu machen gezwungen war, ist nun aber, weil sie keine Anregung zum Nachdenken gewährt, für intelligente Menschen nothwendig langweilig. — Gleichwohl ist Einiges von diesen Thatsachen zu wissen unumgänglich nöthig, hauptsächlich desshalb, weil man ohne deren Kenntniss keine *neuen Beziehungen* zwischen einzelnen derselben entdecken kann; — und die Entdeckung gewisser regelmässig wiederkehrender Beziehungen ist der einzige Weg zu *der Zurückführung einzelner Erscheinungen auf andere*, welche wir „eine Erklärung" der zurückgeführten Erscheinungen nennen.

Eine Summe von einzelnen Thatsachen, die uns bis dahin als solche nicht interessiren, die wir aber zu kennen gleichwohl benöthigt sind, suchen wir nun durch *systematische Anordnung* unserem Gedächtnisse einzuprägen. Eine solche Anordnung hat zugleich bisweilen den Vortheil, etwaige Beziehungen, die zwischen den einzelnen Thatsachen bestehen sollten und die wir in dem Gewirr nicht entdecken konnten, an's Licht zu bringen.

Was ich nun von dem eben behandelten Gegenstande zur Erleichterung des Ueberblicks in einer systematischen Uebersicht zu geben beabsichtige, ist die Zusammensetzung der wichtigsten, in diesen beiden letzten Vorlesungen behandelten organischen Substanzen, d. h. deren relativer Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. — Es kann sich auch hier wieder nicht um die *chemische Constitution* dieser Substanzen handeln. Die lebende Pflanze scheint sich gleichsam sehr wenig bei den Umwandlungsprocessen, die sie vornimmt, um diese Constitution zu bekümmern, d. h. im Organismus der Pflanze sind die (geheimnissvollen) Bedingungen der Aenderung der Constitution eines Stoffes gegeben, während bei unsern künstlichen Umsetzungen die chemische Constitution der Körper selbstredend einen grossen Einfluss auf die entstehenden Umsetzungsprodukte ausübt; bezeichnet ja doch Constitution eines chemischen Körpers Nichts Anderes, als dessen innere Beschaffenheit in Bezug auf Anordnung der ihn zusammensetzenden Theilchen, wie sie sich durch die Umsetzungen *), die er erleidet, kenntlich macht.

Der nähere Einblick in die Constitution der aufgezählten, in den Pflanzen vorkommenden Körper kann daher für unseren Zweck nur von geringem Nutzen sein. — Wohl aber scheint es mir nützlich, eine leicht fassliche Uebersicht über die Zusammensetzung dieser Substanzen, ohne alle Rücksicht auf die Constitution derselben zu geben, ihre *empirischen Formeln*, auch ohne Berücksichtigung ihrer Molekular-

*) Unsere rationellen d. h. die Constitution ausdrückenden Formeln sind bekanntlich wesentlich Umsetzungsformeln.

grösse in einer Weise anzuordnen, dass aus ihrer Stellung ihr relativer Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff unmittelbar hervorgeht und sich leicht dem Gedächtnisse einprägt. Für Substanzen von ternärer Zusammensetzung ist dies durch eine Anordnung in zwei Dimensionen, also auf einer Fläche möglich, so dass durch consequente Aneinanderreihung eine jede Substanz von eigenthümlicher empirischer Formel ihren ganz bestimmten, ihr allein zukommenden Platz erhält.

Eine solche Zusammenstellung der empirischen Formeln, wie ich sie auf Tafel II vorgenommen habe, gewährt, namentlich durch diesen raschen Ueberblick über die relative Zusammensetzung der einzelnen Substanzen, den bedeutenden Vortheil, dass man sofort weiss, auf welchem Weg eine Substanz aus einer andern entstehen kann, ob durch Sauerstoffaufnahme, Wasseraufnahme oder nur durch Spaltung; und ich glaube, dass sie wohl im Stande ist, vor manchen irrthümlichen Schlüssen zu warnen, wie sie in der Pflanzenphysiologie mit Ausseracbtlassung dieser Verhältnisse häufig genug gemacht worden sind.

Ich habe die Anordnung auf Tafel II in der Weise vorgenommen, dass im Centrum der Tafel Substanzen von der Zusammensetzung der Glycose, also von der empirischen Zusammensetzung $C H_2 O$ sich finden, dass dann nach oben hin der Sauerstoffgehalt successive eine Zunahme, nach unten hin eine Abnahme erleidet, bis man oben am reinen Sauerstoff, unten am reinen Kohlenwasserstoff $C H_2$ angekommen ist. Vom Centrum ausgehend nimmt dann nach Rechts der Kohlenstoffgehalt zu, bis endlich der reine Kohlenstoff erreicht ist, nach Links ab, bis man am Wasser angekommen ist. — Es ist leicht ersichtlich, dass auf einer solchen Tafel alle organische Substanzen, die blos aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, ihren fest angewiesenen Platz erhalten und dass es zu diesem Zweck nicht noch erforderlich ist, den Wasserstoff besonders variiren zu lassen. Derselbe nimmt durch das Variiren der beiden andern Elemente relativ zu diesen schon alle möglichen Werthe an.

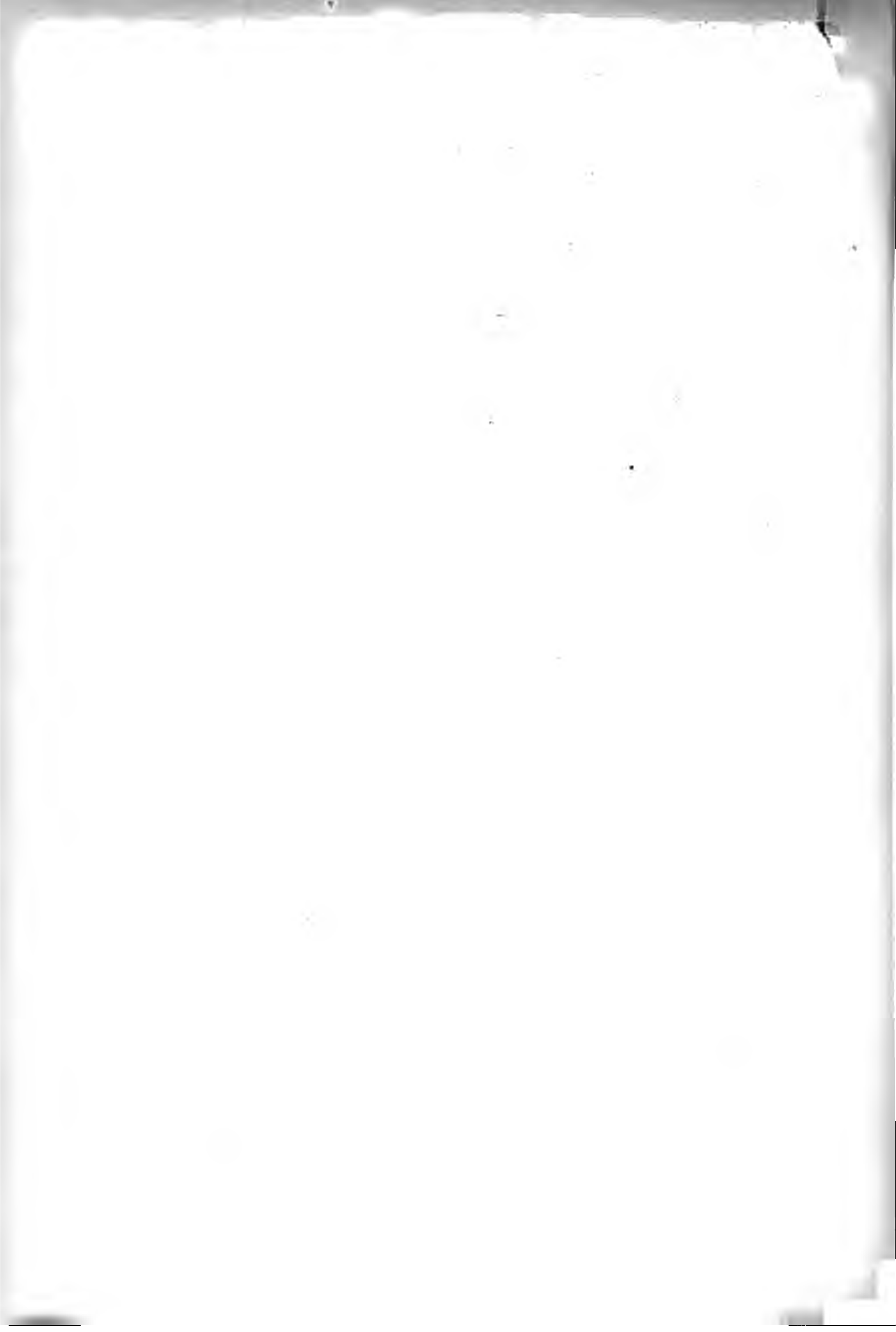
Ich bitte einstweilen die durch doppelte kleine Kreise bezeichneten Stoffe ausser Acht zu lassen und nur die übrigen in's Auge zu fassen. Allen diesen mit dem Namen der Substanzen, die sie repräsentiren, versehenen Zeichen ist (durch Abmessen mit dem Zirkel) genau die Stelle der Tafel angewiesen worden, die ihnen ihres relativen Gehalts an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff wegen gebührt.

Es ist auf diese Weise möglich, ohne Einprägung einer complicirten Formel (die überdies nach der jeweilig angenommenen relativen Grösse der Atomgewichte Aenderungen unterworfen ist, sich rasch und annähernd genau eine Vorstellung davon zu verschaffen, ob man es in irgend einer der von uns behandelten Substanzen, mit einer hochoxydirten oder starkreducirten, wasserstoffreichen oder -armen Verbindung zu thun hat.

Für die reine Chemie dagegen, wo es noch auf ganz andere Dinge ankommt, als auf eine Vorstellung von diesen Verhältnissen, würde eine derartige Tafel nur einen untergeordneten Werth haben.

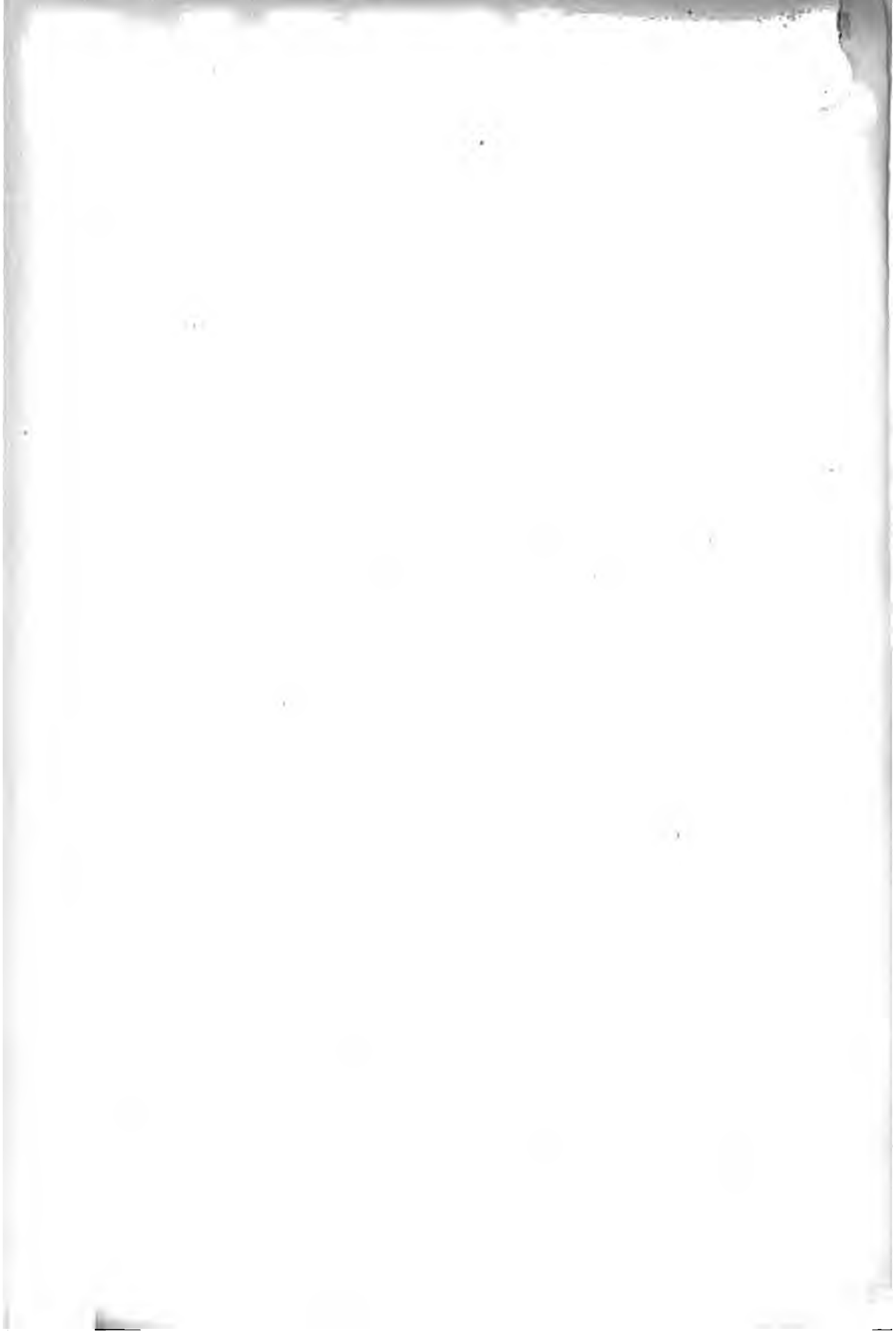
Die Betrachtungen der beiden letzten Vorlesungen berechtigen uns endlich zur Aufstellung von folgenden neugewonnenen Sätzen:

1) Wir kennen eine grosse Reihe (chemisch zum Theil genau gekannter) organischer, nur aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehender Substanzen, die Bestandtheile der lebenden Pflanze sind.
2) Für einige Gruppen dieser Substanzen sind klare Beziehungen zu den wichtigsten Lebensvorgängen der Pflanze erkannt und diese Gruppen finden wir auch mit grosser Regelmässigkeit in den verschiedensten pflanzlichen Organismen vertreten.
3) Diejenigen Gruppen von organischen Substanzen, für die keine Beziehungen zu den wichtigsten Lebenserscheinungen der Pflanze bekannt sind, treten weit unregelmässiger und meistens nur in gewissen Pflanzenformen auf, so dass häufig ein Schluss auf ihre nur sekundäre Bedeutung oder gar ihre Entbehrlichkeit erlaubt erscheint.
4) Ueber den Chemismus des Entstehens und Vergehens der einzelnen Substanzen in dem pflanzlichen Organismus ist fast Nichts bekannt.
5) Die Mehrzahl der Kohlehydrate und die Glyceride sind die einzigen der betrachteten Substanzen, von denen mit Sicherheit behauptet werden kann, dass sie wieder von der protoplasmatischen Zellflüssigkeit aufgenommen und zu Neubildungen benutzt werden können. — Die übrigen Stoffe sind jedenfalls grossentheils, einmal gebildet, unfähig, wieder in den Stoffwechsel der Pflanze einzutreten.



Zweiter Abschnitt.

Die stickstoffhaltigen Bestandtheile der Pflanzen.



Zehnte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanze. — Die Pflanze und der freie atmosphärische Stickstoff.

Wir haben in unsern bisherigen Betrachtungen dergleichen gethan, als bestünde der ganze Organismus der Pflanze lediglich aus den drei Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Nur gelegentlich wurde hie und da eine Bemerkung gemacht, aus der geschlossen werden konnte, dass noch andere Elemente sich normal und naturnothwendig an dem Aufbau dieses Organismus betheiligen. — Wir haben diese Thatsache bisher vorzüglich desshalb verschwiegen, weil die bereits gemachten Mittheilungen sich in vollständigem Zusammenhang behandeln liessen auch ohne Kenntnissnahme von derselben, und wir es für einen Vortheil erachtet haben, der Darstellung eine thunlichste Einfachheit zu geben und nicht gleich von Anfang an durch die Fülle der Details zu verwirren.

Aus dem Gesagten geht zugleich hervor, dass die Gegenstände, die wir noch weiter zu behandeln haben, nur in einer sehr lockern Verbindung stehen mit der Theorie derjenigen Vorgänge, von deren Betrachtung wir uns abwenden, d. h. also, dass es uns bis jetzt noch nicht gelungen ist, die direktere oder indirektere Mithülfe der nun von uns zu studirenden complicirteren Verhältnisse an diesen Vorgängen, die ja zweifelsohne bestehen muss, festzustellen und ihrer Causalität nach einzusehen. Wäre dies nicht der Fall, — es wäre ja rein unmöglich gewesen, eine getrennte Behandlung der verschiedenen Gegenstände vorzunehmen, wie wir dies zu thun für zweckmässig erachtet haben.

In Wahrheit also — und nun ist die Zeit gekommen, wo ich dies nicht mehr verhehlen kann — ist die Pflanze weit complicirter zusammengesetzt, als aus jenen drei Elementen. Noch eine ganze Reihe von Grundstoffen müssen als constituirende Bestandtheile aller pflanzlichen Organismen angesehen werden, *denn es gelingt nicht, diese bei Ausschluss jener Bestandtheile gedeihlich fortzubringen.*

Wir werden nun in den folgenden Vorlesungen einen dieser Elementar-Bestandtheile nach dem andern herausgreifen, möglichst die chemischen Verbindungen zu ermitteln suchen, in denen er in der Pflanze auftritt, uns nach den Funktionen umsehen, die diese Verbindungen in der Pflanze vollziehen, und in gleicher Weise die chemische Form zu ermitteln suchen, in welcher der fragliche Bestandtheil in die Pflanze eintritt.

Wir beschäftigen uns zunächst mit den *weiteren Elementen der organischen Substanz,* vor Allem mit dem *Stickstoff.*

Wenn man irgend eine ganz beliebige Pflanze in ihre Bestandtheile zerlegt, so findet man — also vorerst abgesehen von den unorganischen, unverbrennlichen Bestandtheilen — noch Stoffe in derselben vor, deren Anwesenheit sich

nicht lediglich aus jener fundamentalen Thätigkeit des Chlorophyll-Organs, d. i. aus dem Zusammentreten von Wasser und Kohlensäure unter Ausgabe von Sauerstoff erklären lässt. — Es finden sich, wie wir schon früher angedeutet haben, ausnahmslos noch organische Substanzen in derselben vor, für die der Bestandtheil Stickstoff wesentlich ist.

In einer Beziehung ist nun hinsichtlich dieser *stickstoffhaltigen organischen Bestandtheile* Etwas Dem ganz Aehnliches zu sagen, was wir früher für die *organische Substanz im Allgemeinen* hervorgehoben haben, nemlich, dass der Pflanze zur Aneignung derselben im Grossen und Ganzen nur *anorganische Materialien* zu Gebote stehen, wie sich aus folgender, der früher angestellten ganz analogen Betrachtung ergibt.

Dass die Pflanzenwelt sehr grosse Massen von stickstoffhaltiger organischer Substanz *neu erzeugt*, geht aus dem ganz zu Tage liegenden Umstand hervor, dass die Thierwelt sehr grosse Mengen von diesen Stoffen wiederum *in sich zerstört* und ausserdem auch Fäulniss- und Verwesungs-Erscheinungen das Ihrige an dem Zerfall dieser Stoffe thun. — Es kann also unmöglich die gesammte Pflanzenwelt (geradeso wie ihr auch keine genügende Mengen von organischer Substanz im Allgemeinen zum Aufbau ihres Körpers zu Gebote stehen können, und darin schon der indirekte Beweis lag, dass dieselben nothwendig fähig sein müssten, solche organische Stoffe aus unorganischen zu bilden) nur auf Kosten von schon vorher etwa in den humosen Resten des Bodens vorhandenen stickstoffhaltigen organischen Substanzen vegetiren, sondern es liegt hierin der indirekte Beweis, dass auch im Speziellen *diese stickstoffhaltigen organischen Stoffe* in grossem Masstab *in den lebenden Pflanzen neu erzeugt* werden müssen.

Aus welchem Rohmaterial, an welchem Orte und unter welchen sonstigen Bedingungen diese stickstoffhaltige organische Substanz in der Pflanze ihre Entstehung nimmt, wird uns in dieser und den nächsten Vorlesungen beschäftigen.

Zunächst müssen wir den Ausdruck „stickstoffhaltige organische Substanz" etwas näher zu definiren suchen. Wir kennen bis jetzt erst eine einzige stickstoffhaltige Körpergruppe *), die wir als für die Pflanzen unentbehrliche Bestandtheile zu bezeichnen berechtigt sind. Es sind dies die *eiweissartigen Körper*, die auch als *Proteïnstoffe*, *Fleischbildner* und mit einigen weniger bekannten Synonymen bezeichnet worden sind. Wenn bis jetzt keine Pflanze der Elementaranalyse unterworfen wurde, in der nicht ein kleinerer oder grösserer Bruchtheil Stickstoff aufgefunden werden konnte, so hatten wir dies stets dem Gehalt an solchen Proteïnkörpern zuzuschreiben, und wenn ausser diesen noch andere stickstoffhaltige Stoffe in der Pflanze aufgefunden wurden, so hatten wir selten ein Recht, solche Stoffe als unentbehrlich für die Pflanzen anzusehen oder denselben irgend welche allgemeinere Funktionen zuzuschreiben. Die Proteïnstoffe dagegen scheinen einen unentbehrlichen Bestandtheil des Protoplasma der Zellen aller jugendlichen zur weiteren Zellvermehrung fähigen

*) Ueber die etwa nothwendige Einschränkung dieser Behauptung siehe die dreizehnte Vorlesung.

Neubildungen *) auszumachen; wenigstens zeigt dasselbe stets eine mikroskopische Reaktion, die wir auf Anwesenheit von Proteïnstoffen zu deuten uns berechtigt glauben, und die Analyse von Pflanzentheilen, die sich mikroskopisch als aus zur Neubildung fähigen, von Protoplasma strotzenden Zellen zusammengesetzt erweisen, lehrt uns unter allen Umständen deren *Stickstoffreichthum* (resp. deren Reichthum an Proteïnsubstanzen) kennen.

Aber nicht blos in dem Protoplasma jugendlicher Gebilde scheinen die Eiweissstoffe eine hervorragende Rolle zu spielen, man findet sie auch in Lagen und ausgestattet mit Eigenschaften, dass man sie als Reservestoffe für später sich entfaltende Organe auffassen muss. Sie sind dann neben Stärkemehl, wie z. B. in den Weizenkörnern und den meisten andern Samen, oder neben fettem Oel, wie in den Lupinenkörnern oder auch neben irgend einem andern stickstofffreien organischen Vorrathsstoff aufgespeichert, um gemeinschaftlich mit diesen den Neubildungen (also in der Regel der jungen Keimpflanze), die selbst noch unfähig sind, durch eigene Thätigkeit sich die Stoffe zu beschaffen, welche sie zu ihrer Ausbildung bedürfen, als disponible Nahrung zu dienen. Der Eiweissreichthum einer solchen jungen, noch hülflosen Pflanze ist alsdann auf jene proteïnartigen Reservestoffe (wie sie nun immer heissen mögen) zurückzuführen.

Von der Entstehung dieser Proteïnstoffe, welche wir allein von allen stickstoffhaltigen Stoffen, die in der Pflanze aufzutreten pflegen, als die einzigen unentbehrlichen und jedenfalls wichtigsten einer eingehenderen Behandlung würdigen wollen, in der Pflanze und von deren Rohmaterial werden wir nun handeln. Wir wissen zunächst aus der eben gemachten Deduktion und aus sogleich mitzutheilenden Thatsachen, dass *die stickstoffhaltigen organischen Stoffe der Pflanze in dieser entstehen können aus stickstoffhaltigen anorganischen Stoffen* (wir fragen noch nicht aus welchen) *und stickstofffreier organischer Substanz.* Wir sehen grüne Pflanzen, denen von Aussen nichts zugeführt wird als anorganische Stoffe, der Stickstoff speciell in Form von Ammoniaksalzen oder salpetersauren Salzen, ihren Gehalt an stickstoffhaltigen organischen Stoffen um das Vielfache vermehren; wir sehen ferner, dass chlorophyllfreie Pflanzen (Pilze), die also nicht die Fähigkeit haben, organische Substanz in sich zu erzeugen, bei der Ernährung mit einer stickstofffreien organischen Substanz und im Uebrigen lauter anorganischen Stoffen (Stickstoff wieder in Form von ammoniak- und salpetersauren Salzen) gleichfalls ihre stickstoffhaltige organische Substanz um das Vielfache des ursprünglichen Gehalts vermehren, und machen aus beiden Fakten mit unumstösslicher Sicherheit den Schluss, dass die *Entstehung stickstoffhaltiger organischer Substanz in der Pflanze nicht nothwendig an das chlorophyllhaltige Organ* **) *gebunden ist,* dass sie auch in andern pflanzlichen

*) Vergleiche Hofmeister: Die Lehre von der Pflanzenzelle 1867. I. p. 2. Vielleicht erleidet dieser Satz eine Einschränkung; vergl. meine Untersuchungen über die Ernährung der Hefe: Landw. Versuchsst. B. XI. p. 449 u. ff. Auch hiervon soll später etwas eingehender die Rede sein.

**) Liebig scheint dies früher angenommen zu haben, (vergl. seine Ausführungen Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 153. p. 41), obgleich schon die Vorgänge in der chlorophyllhaltigen Pflanze niemals für die Bildung dieser Substanzen in der chlorophyllhaltigen Zelle gesprochen haben.

Organen vor sich gehen kann, sobald nur schon gebildete organische Substanz und Stickstoff in irgend einer aufnehmbaren, aber unorganischen Form vorhanden ist. Und da diese Thatsache einmal feststeht, so erscheint auch die Annahme naturgemäss, dass auch in den chlorophyllhaltigen Pflanzen die Bildung der stickstoffhaltigen organischen Substanz nicht direkt aus anorganischem Material, sondern mit Hülfe der schon gebildeten stickstofffreien organischen Substanz vor sich gehe, zumal da später zu erörternde Thatsachen durchaus nicht für die Nothwendigkeit der Verlegung des in Rede stehenden Processes in die grünen Organe sprechen.

Obgleich nun also dieser Process nicht an den Chlorophyllapparat nothwendig gebunden, so ist doch zur Bildung der Proteïnstoffe (aus denen ja jene stickstoffhaltige organische Substanz im Wesentlichen besteht) irgend *eine Einrichtung* erforderlich, wie sie sich eben nur im pflanzlichen Organismus vorfindet; denn im Laboratorium des Chemikers und ebenso im Körper der Thiere gelingt es bekanntlich nicht, den Zusammentritt von irgend einer stickstofffreien organischen Substanz mit irgend einer anorganischen Stickstoffverbindung zu eiweissartigen Stoffen zu bewerkstelligen; allein ich wiederhole, diese Einrichtung ist nicht dieselbe wie die der chlorophyllhaltigen Zelle. Die chlorophyllhaltige Zelle ist wenigstens bei vielen Pflanzen entbehrlich zur Produktion von Proteïnstoffen, selbstverständlich vorausgesetzt, dass organische Substanz als Rohmaterial gegeben ist.

Dieser Sachverhalt verhindert nun natürlich nicht, dass *die eiweissartigen Stoffe* der Pflanze auch *in der chlorophyllhaltigen Zelle entstehen können*; denn in den grünen einzelligen Algen findet sich bekanntlich auch ein eiweissreiches Protoplasma, und diese Eiweissstoffe können dann nur in einer chlorophyllhaltigen Zelle entstanden sein; aber ebenso wie in einer solchen Algenzelle bilden sich auch die Proteïnstoffe in der chlorophyllfreien Pilzzelle, z. B. der Hefenzelle, für die speciell dieser Sachverhalt mit Evidenz nachgewiesen ist. *)

Wir haben also etwa die Entstehung der Proteïnstoffe der Pflanze geradeso aufzufassen, wie die Entstehung irgend eines stickstofffreien organischen Stoffs, der nicht direkt seinen Ursprung jener produktiven Thätigkeit des Chlorophyllorgans verdankt, also z. B. der fetten Oele, die in weitaus den meisten Fällen durch sekundäre Processe aus dem zuerst producirten Stärkemehl entstehen, nur dass in jenem erstern Falle gleichzeitig mit der Umwandlung ein Eingehen einer anorganischen Stickstoffverbindung in die Zusammensetzung als vor sich gehend gedacht werden muss. **)

Wenn wir jetzt die Zusammensetzung berücksichtigen, die die Proteïnstoffe zeigen, so kann (da diese Stoffe nahezu alle dieselbe Zusammensetzung haben) für die Entstehung der Proteïnstoffe aus Stärkemehl oder Glycose, das ja in fast allen Fällen direkt oder indirekt zur Bildung dieser Stoffe gedient haben muss, und die der Pflanze zu Gebote stehenden anorganischen Stickstoffverbindungen Folgendes ganz allgemein ausgesagt werden: *Alle Proteïnstoffe* können direkt oder indirekt nur *in Folge eines Reduktionsprocesses aus dem ursprünglichen Assimilations-*

*) **Pasteur:** Annal. de Chim. et de Phys. [3] T. 58. p. 323.

) Diese Auffassungsweise schon bei **Rochleder: Phytochemie 1854. p. 330.

produkt der chlorophyllhaltigen Zelle, dem Stärkemehl (oder dessen stellvertretenden Kohlehydraten) *erzeugt werden*, sei es nun, dass man Ammoniak, freien Stickstoff oder Salpetersäure zu deren Bildung heranzieht. Wir lassen für jetzt ganz ausser Acht, welcher dieser anorganischen stickstoffhaltigen Stoffe thatsächlich in der Pflanze zur Bildung der Proteïnstoffe Verwendung findet und suchen nur das eben Ausgesagte für das Ammoniak, den sauerstoffärmsten und wasserstoffreichsten dieser anorganischen stickstoffhaltigen Körper zu beweisen, da es sich für die andern beiden möglicher Weise noch in Frage kommenden Körper dann von selbst versteht. Wenn wir die Lieberkühn'sche Formel des Albumins $C_{72} H_{112} N_{18} SO_{22}$ zu Grunde legen — für unsere Zwecke ist es ja ohnehin gleichgültig, welche Formel wir acceptiren, wenn sie nur empirisch annähernd richtig ist — und darin die geringe Menge von Schwefel vernachlässigen, so würden die entsprechenden Mengen Stärkemehl und Ammoniak $12 C_6 H_{10} O_5$ und $18 NH_3$ sein oder zusammen $C_{72} H_{174} N_{18} O_{60}$, oder wenn wir bei dem Process des Zusammentritts die nöthige Menge Wasser $31 H_2O$ austreten lassen, $C_{72} H_{112} N_{18} O_{29}$, woraus also ersehen werden kann, dass durch den einfachen Zusammentritt von Ammoniak und Stärkemehl und entsprechenden Wasserverlust ein Körper resultiren würde, der weit sauerstoffreicher (7 O mehr) wäre, als die Proteïnsubstanzen. Dazu kommt noch, dass der Schwefel ebenfalls nur unter Reduktion aus schwefelsauren Salzen eintreten könnte.

Wir haben aber nun in einer früheren Vorlesung gesehen, dass ein solcher Reduktionsprocess nicht an einem beliebigen Orte erfolgen kann, dass ein Reduktionsprocess unter Austritt von Sauerstoff unter allen Umständen eine *Kraftquelle* voraussetzt, *welche die zu diesem Processe nothwendige chemische Arbeit leistet*; und da wir wissen, dass der besprochene Vorgang der Entstehung der Proteïnstoffe *an Orten* in der Pflanze, *wo keine solche Kraftquellen zur Verfügung stehen*, vor sich gehen kann, so müssen wir hier natürlich wieder den früher bei Entstehung anderer reducirterer Körper (der Fette) aus Kohlehydraten geltend gemachten Grundsatz anwenden und uns die Vorstellung bilden, dass jener Reduktionsprocess, der beim Zusammentritt von Kohlehydraten und Ammoniak (oder den andern stickstoffhaltigen anorganischen Stoffen) stattfinden muss, nicht unter Ausscheidung von Sauerstoff, sondern von *Kohlensäure* vor sich geht, da in diesem letzteren Fall eine solche Kraftquelle im Allgemeinen entbehrlich ist. Wir haben uns daher die Entstehung der Proteïnstoffe ungefähr nach folgender Gleichung vor sich gehend zu denken, wobei wir, um nicht allzu hochatomige Formeln zu erhalten, von einem beliebigen Kohlehydrat von der Zusammensetzung der Glycose ausgehen.

$$C_{151} H_{302} O_{151} + 36 NH_3 = 2 C_{72} H_{112} N_{18} O_{22} + 93 H_2O + 7 CO_2.$$ *)

*) Es kann zweifelhaft erscheinen, ob ein solcher Vorgang, wie er durch die gegebene Gleichung ausgedrückt wird, ohne Anhäufung von chemischen Spannkräften stattfinden kann. Wenn man die Verbrennungswärmen der betreffenden Stoffe nach den vorhandenen Angaben (Vergl. Jahresber. d. Chem. 1866. p. 734) auf beiden Seiten der Gleichung berechnet, so kommt man bei Vernachlässigung der Verbrennungswärme des Ammoniaks zu einem Verhältniss, das ganz entschieden einen bedeutenden Gewinn an chemischen Spannkräften andeutet, so dass es kaum wahrscheinlich ist, dass dieser Ueberschuss durch die (mir) unbekannte Verbrennungswärme des Ammoniak gedeckt werden kann. In diesem Falle würde der durch

Wenn aber statt Ammoniak, Stickstoff oder gar Salpetersäure zur Bildung der Proteïnstoffe herangezogen werden sollte, so müsste natürlich eine viel bedeutendere Reduktion stattfinden, resp. relativ viel bedeutendere Mengen von Kohlensäure austreten.

Durch die vorausgehende Betrachtung wird ersichtlich, dass die Proteïnstoffe ihrer Zusammensetzung nach, wenn wir ihren Stickstoffgehalt vernachlässigen, d. h. also ihrem relativen Gehalt von Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff nach, sich der Fettgruppe nähern, wie auch aus der Stellung dieser Stoffe (nachdem man sie ihres Stickstoffgehalts auf die eine oder die andere Weise entledigt) auf der ihrer Anordnung nach schon besprochenen Tafel II hervorgeht. Für ihre Entstehung aus Kohlehydraten, aus denen sie hinsichtlich ihres Kohlenstoffgehalts direkt oder indirekt abgeleitet werden müssen, konnte desshalb etwas Aehnliches ausgesagt werden, wie für die Entstehung der Fette seiner Zeit ausgesagt wurde. — Es ist natürlich selbstverständlich, dass man mit beinahe derselben Berechtigung die Proteïnstoffe aus den Fetten der Pflanze entstehen lassen kann, wie aus den Kohlehydraten, aber dann ist eben der nothwendige Reduktionsprocess nur an eine andere Stelle verlegt, nicht umgangen, und unsere Betrachtung hätte keinen weiteren Zweck, als die Stellung der Proteïnstoffe zu den ursprünglichen Assimilationsprodukten der chlorophyllhaltigen Zelle zu bezeichnen.

Wir haben schon früher bei der Betrachtung der Stoffumwandlungen auf die Beziehungen dieser Vorgänge zur Athmung (Sauerstoffaufnahme, Kohlensäureabgabe) aufmerksam gemacht und können nun hinzufügen, dass die Entstehung der Proteïnstoffe aus den Kohlehydraten, unter Zuhülfenahme von gewissen stickstoffhaltigen anorganischen Körpern, auch wie die Entstehung der Fette mit einer vorwiegenden Kohlensäureausgabe (vielleicht auch mit der Ausgabe einer andern hochoxydirten Kohlenstoffverbindung) verknüpft sein muss, und hierin liegt ein weiterer, vielleicht einst zu verwerthender Fingerzeig für die richtige Deutung einzelner Athmungserscheinungen.

In innigem Zusammenhang mit den eben gemachten Erläuterungen über die Stellung der Proteïnstoffe unter den organischen Substanzen stehen die neuerdings in der Thierphysiologie gezogenen Schlüsse über die Rolle jener Stoffe bei der thierischen Ernährung. Man hat guten Grund, zu vermuthen, dass die Fettbildung im Thierkörper häufig auf Kosten der Proteïnstoffe vor sich geht, was nicht leicht denkbar wäre, wenn dieselben nicht schon entsprechend sauerstoffarm wären.*) Lässt

---

die Gleichung ausgedrückte Process trotz der Kohlensäureausgabe eine chemische Arbeit vorstellen, also ohne Kraftquelle von Aussen unmöglich sein. Sicherlich ist aber, wie meine Berechnungen ergeben, der Process auf Kosten von Salpetersäure nach der Gleichung:

$$C_{223}H_{446}O_{223} + 36\,HNO_3 = 2\;C_{72}H_{112}N_{18}O_{22} + 129\,H_2O + 79\,CO_2$$

mit dem Gesetz der Erhaltung der Kraft verträglich, da dieser Vorgang unter Zerstörung einer weit grösseren Menge organischer Substanz und daher unter einer erheblichen Einbusse an chemischen Spannkräften vor sich geht.

*) Genau aus dem gleichen Grunde ist die Fettbildung auf Kosten von Kohlehydraten ein thierischer Körper bei ruhiger Erwägung mehr und mehr unwahrscheinlich geworden, ein Vorgang, welchen man früher, als man nur die Elementarzusammensetzung und nicht die in's Spiel kommenden Kräfte berücksichtigte, für den bei Weitem leichter sich realisirenden hielt.

man von den Proteïnstoffen, wie dies im Thierkörper ja thatsächlich geschieht, sich Harnstoff abspalten, so bleibt, wie die folgende Gleichung lehrt, ein Körper zurück, der nahezu die Zusammensetzung eines Fettes *) zeigt:

$$C_{72}H_{112}N_{18}O_{22} = 9\,CH_4N_2O + C_{63}H_{76}O_{13}$$

Ehe wir näher auf die einzelnen in den Pflanzen vorkommenden stickstoffhaltigen organischen Substanzen und besonders die Proteïnkörper eingehen, wollen wir nun die Frage zu entscheiden suchen, aus welchem stickstoffhaltigen Rohmaterial die Bildung dieser Stoffe in den Pflanzen erfolgt, ob Ammoniak, freier Stickstoff oder Salpetersäure in die organischen Verbindungen der Pflanze eingeht und darum Nahrungsmittel der Pflanze ist. — Es ist dies eine Frage, die Jahrzehnte lang auf's Lebhafteste debattirt wurde, viele Köpfe in Bewegung setzte und zum Theil mit grossartigen Mitteln experimentell bearbeitet worden ist, — anfangs unter Förderung geradezu entgegengesetzter Resultate, — die wir aber jetzt als endgültig entschieden ansehen dürfen. Es ist kaum nöthig, hervorzuheben, welche Bedeutung die Entscheidung dieser Frage auch für die landwirthschaftliche Praxis haben musste, da Stickstoff eines der Pflanzennahrungsmittel ist, die wir bei der Pflanzenkultur künstlich zuzuführen pflegen und das oft den Hauptwerth **) einer gegebenen Düngung repräsentirt.

Es möge mir bei der bedeutenden Wichtigkeit der aufgeworfenen Frage und wegen der Vortheile, die diese Behandlungsweise bietet, hier wieder gestattet sein, etwas näher auf die historische Entwickelung unserer Anschauungen über die Art, wie die Pflanze ihren Stickstoff assimilirt, einzugehen. Auch dieser Rückblick wird Viel des Lehrreichen bieten, obgleich die in Rede stehende Frage wesentlich nur induktiv bearbeitet werden konnte, und es sich der Natur der Sache nach dabei weniger um experimentelle Bestätigung theoretischer Ableitungen handelte.

Wenn wir zunächst, ehe wir von den Resultaten der experimentellen Forschungen sprechen, das Vorkommen des Stickstoffs in der Natur berücksichtigen und uns vorstellen, dass unsere atmosphärische Luft zu vier Fünftheilen aus freiem Stickstoff besteht, und ferner die Thatsache erwägen, dass sonstige Stickstoffverbindungen nur in sehr geringen Mengen in den Medien enthalten sind, in denen die Pflanze vegetirt (also in Boden, Wasser und Atmosphäre), so ist man geneigt, anzunehmen, dass der *freie Stickstoff* der Atmosphäre die Quelle sein möchte für diesen Bestandtheil der stickstoffhaltigen organischen Stoffe, welche sich fort und fort in den Pflanzen neu erzeugen.

Wenn man jedoch die Sachlage etwas näher in's Auge fasst und bedenkt, mit wie grosser Schwierigkeit der freie Stickstoff in Verbindungen eingeht, dass er an sich so ziemlich das indifferenteste aller Elemente ist, dass ferner bei einem so grossen Vorrath an Stickstoff für die Pflanze niemals Mangel an diesem Nährstoffe eintreten könnte, diese aber, wie auch schon aus der Zusammensetzung unserer gebräuchlichsten Dünger hervorgeht, thatsächlich in vielen Fällen äusserst dankbar ist für eine Stickstoffzufuhr, dann beginnt man wieder stark zu zweifeln an dem Resultate der Entscheidung, das man zuerst ziehen zu müssen geglaubt hat, beruhigt sich

*) Auch diesem ideellen Spaltungsprodukt wurde ein Platz auf Tafel II angewiesen.

**) Werth, natürlich in seiner wirthschaftlichen Bedeutung.

vielleicht aber auch mit dem Gedanken, dass einerseits der freie Stickstoff eben vielleicht nur unter gewissen nicht gar häufig eintretenden Umständen assimilirbar sei, dass andererseits die Pflanze auch sonst im Stande wäre, chemische Reaktionen einzuleiten, die ausserhalb derselben nur schwierig oder gar nicht zu bewerkstelligen sind, und so auch Hoffnung vorhanden sei, dass die chemische Indifferenz des Stickstoffs in der Pflanzenzelle überwunden werden könne, dass endlich die stickstoffhaltigen Düngemittel aus irgend einer andern Ursache, als wegen ihres Stickstoffgehalts, die thatsächliche Wirksamkeit zeigten u. s. w. — Kurz man kann hier Erwägungen hin und her machen, ohne a priori zu einem sichern oder in hohem Grade wahrscheinlichen Resultate zu gelangen.

Man konnte daher seiner Zeit sehr objektiv an die experimentelle Bearbeitung der uns beschäftigenden Frage gehen und deren Beantwortung versuchen, und wir werden nun zu sehen haben, welche Resultate zuerst auf diese Weise zu Tage gefördert wurden.

Die ersten Versuche, die zur Entscheidung der bezeichneten Frage angestellt worden sind, haben wenig Bedeutung für den Gang der experimentellen Beweisführung; dieselben sind von Priestley*) und Ingen-Housz**) gegen Ende des vorigen Jahrhunderts ausgeführt worden und sind eigentlich nur gelegentliche Beobachtungen, aus denen viel zu weit gehende Schlüsse gemacht wurden. Beide wollten beobachtet haben, dass lebende Pflanzen, in einen Recipienten mit atmosphärischer Luft gebracht, sehr wesentliche Mengen des Stickstoffs dieser Luft zu assimiliren vermöchten. — Es braucht auf diese Beobachtungen nicht weiter eingegangen zu werden, da die betreffenden Thatsachen schon im Jahre 1804 von de Saussure experimentell widerlegt worden sind.***)

Der erste, der die experimentelle Bearbeitung der Frage nach der Assimilation des freien Stickstoffs *mit dazu ausreichenden Mitteln* in die Hand nahm, war Boussingault. — Dieser verliess jedoch die für den vorliegenden Zweck aus einer Reihe von Gründen ziemlich unbrauchbare eudiometrische Methode und fing an, die Stickstoffzuwächse in der Pflanze selbst analytisch zu bestimmen, anstatt, wie dies früher geschehen war, die Stickstoffverluste der umgebenden Atmosphäre. Hiezu waren jedoch eine Reihe von Vorsichtsmassregeln unerlässlich. Es musste der Pflanze durchaus unmöglich gemacht werden, ihren Stickstoffgehalt auf irgend eine andere Weise als durch den freien Stickstoff der Atmosphäre zu vermehren, und, da die gewöhnliche humose Acker- oder Gartenerde Stickstoffverbindungen enthält, ein stickstofffreier Nährboden hergestellt werden. Durch die Zerstörung der humosen Bestandtheile der Ackererde, die eben gerade stickstoffhaltig zu sein pflegen, raubt man aber nun der Pflanze eine Reihe anderer wichtiger Vegetationsbedingungen (der Kohlensäurequelle des sich langsam zersetzenden Humus u. s. f.), so dass es schon

*) Priestley: Versuche und Beobachtungen über verschiedene Gattungen der Luft 1870.

**) Ingen-Housz: Ueber die Ernährung der Gewächse und der Fruchtbarkeit des Bodens 1798.

***) De Saussure: Untersuchungen etc. p. 189.

desshalb schwieriger ist, eine Pflanze in einem rein mineralischen und stickstofffreien Boden fortzubringen. Doch wurden von Boussingault schon in den ersten Versuchen diese Schwierigkeiten überwunden.

Weitere Schwierigkeiten liegen jedoch in dem Gehalt der Atmosphäre an gebundenem Stickstoff, ammoniak- und salpetersauren Verbindungen, und diese hatten in den ersten Versuchen von Boussingault keine genügende Berücksichtigung erfahren. So kam es, dass derselbe in diesen ersten Versuchen*) bei manchen Pflanzen: Klee und Erbsen — wir werden später sehen, warum gerade bei diesen — trotz des Ausschlusses einer Stickstoffquelle im Boden, dennoch Stickstoffzuwächse nachweisen konnte, während allerdings bei anderen Pflanzen zweifelhafte Zuwächse oder stetige Verluste eintraten.

In Boussingault's späteren Versuchen, die vom Jahre 1851 an und namentlich 1853**) angestellt wurden, ist diese zweite Fehlerquelle völlig vermieden worden, indem derselbe von dieser Zeit an nicht blos die betreffenden Pflanzen in stickstofffreien Nährböden, Bimssteinpulver mit Asche von Stalldünger (oder auch in Nährböden von genau bekanntem Stickstoffgehalt) erzog, sondern denselben auch nur eine Atmosphäre zuführte, die aller Ammoniak- und salpetersauren Verbindungen durch Durchleiten durch Schwefelsäure etc. beraubt war. Die Zusammenstellung des benutzten Apparats war so einfach und selbstverständlich, dass ich nichts weiter anzugeben brauche, als dass die betreffende Pflanze sich sammt dem Topf, in den sie gesetzt war, in einem nach Aussen hin wohl geschlossenen Glaskasten befand und entweder die gereinigte Luft und die Kohlensäure durch Zuleitungsröhren empfing, oder auch in einem abgegrenzten Luftvolum vegetirte.

Von den Resultaten, die Boussingault nach diesem verbesserten Verfahren erhielt, sind einige in der vorliegenden Tabelle verzeichnet, aus welchen ersehen werden kann, welche bestimmte Antwort auf die gestellte Frage durch die Versuche erlangt ward.

Samen	Versuchs-Dauer	Gewicht der Aussaat	Gewicht der Ernte	Stickstoff der Aussaat	Stickstoff der Ernte	Stickstoff-Differenz
Bohne	2 Monate	0,780 Gr.	1,870 Gr.	0,0349 Gr.	0,0340 Gr.	— 0,0009 Gr.
Bohne	2 Monate	0,792 „	2,35 „	0,0354 „	0,0360 „	+ 0,0006 „
Bohne	2½ Mon.	0,665 „	2,80 „	0,0298 „	0,0277 „	— 0,0021 „
Hafer	2 Monate	0,377 „	0,540 „	0,0078 „	0,0067 „	— 0,0011 „
Hafer	2½ Mon.	0,139 „	0,44 „	0,0031 „	0,0030 „	— 0,0001 „

Man sieht, dass in der Ernte meistens ein kleiner Verlust an Stickstoff constatirt werden konnte, oder dass der Zuwachs, wie bei dem zweiten Versuch mit den Bohnen so ausserordentlich gering (in diesem Fall 6 Dezimilligramme) war, dass er in's Bereich der Versuchsfehler***) fallend angesehen werden darf.

---

*) Vergl. Jahresbericht d. Chemie 1854. p. 644; oder besser Ann. ch. phys. [2] T. 67. p. 5, und besonders p. 52.

**) Compt. rend. T. 38. p. 717.

***) Es ist namentlich bei Beurtheilung der möglichen Grösse der Versuchsfehler zu berücksichtigen, dass der Stickstoffgehalt der ausgelegten Samen nur durch Analyse einer Durchschnittsprobe festgestellt werden kann, und bei der Berechnung des Stickstoff-

Die Versuche, die von Boussingault in stickstoffhaltigem Boden angestellt wurden und wobei der Boden seinen Stickstoffgehalt durch das Auslegen getödteter Samen empfing, ergaben meistens ein grösseres Deficit, weil hier geringe Mengen des Stickstoffs der faulenden Samen in Form von Ammoniak an die durchstreichende Luft abgegeben werden konnten oder gar bei der Verwesung als freier Stickstoff entwickelt wurden.

Was Boussingault aus diesen Resultaten schloss und schliessen konnte, liegt auf der Hand. Obgleich sich die Trockensubstanz der Versuchspflanzen ansehnlich vermehrt hatte, also Produktion von organischer Substanz mit Hülfe der grünen Organe der Pflanze stattgefunden hatte, waren trotz dem Vorhandensein grosser Mengen von freiem Stickstoff in dem Bereich der Pflanze keine Stickstoffvermehrung in der Pflanze, kein Zuwachs an deren stickstoffhaltiger organischer Substanz eingetreten. Die Pflanzen waren also in dem Stadium, in dem sie sich befanden, sicherlich unfähig gewesen, den freien Stickstoff zu assimiliren und Boussingault machte den Schluss, dass bei der Entwickelung der von ihm zu Versuchen benutzten Pflanzen freier Stickstoff nicht aufgenommen werde.

So schien die aufgeworfene Frage durch die vielen Versuche des unermüdlichen Experimentators völlig entschieden zu sein. — In keinem der einzelnen so vielfach modificirten Versuche war ein unzweideutiger Zuwachs an Stickstoff in der Pflanze nachgewiesen worden; alle im stickstofffreien Boden und ammoniakfreier Atmosphäre gezogenen Pflanzen waren unfähig, sich über ein gewisses oft sehr eng begrenztes Entwickelungsstadium hinaus zu entwickeln, was nur auf den Umstand gedeutet werden konnte, dass die Pflanzen darauf angewiesen waren, sich ihren Stickstoff in gebundener Form anzueignen.

Dennoch haben die Boussingault'schen Folgerungen von einer andern Seite lebhaften Widerspruch, der sich auch auf den exakten experimentellen Nachweis zu stützen vorgab, erfahren. G. Ville, der seine Versuche ungefähr gleichzeitig mit Boussingault und viele Jahre hindurch angestellt hat, vertheidigte eifrig die These, dass der freie Stickstoff der Atmosphäre, wenn auch unter gewissen Einschränkungen, von der Pflanze assimilirt werde. Derselbe suchte die Richtigkeit seiner Behauptung ausser durch die Resultate seiner Versuche, die wir alsbald kurz in's Auge fassen werden, auch noch dadurch wahrscheinlich zu machen, dass er auf den hohen Stickstoffgehalt der Ernten bei dem praktischen Betriebe des Pflanzenbaus hindeutete, und meinte, dass es unmöglich sei, denselben allein durch den Stickstoff des verwendeten Düngers und durch das durch den Regen zugeführte Ammoniak der atmosphärischen Luft zu erklären. — Es kann nun nicht geleugnet werden, dass in diesem letzteren Verhalten für die Anschauungen der damaligen Zeit ein zunächst unlösbares Räthsel lag, ein Räthsel, dessen Lösung auch für uns erst in einer der folgenden Vorlesungen versucht werden kann. Zunächst handelte es sich aber, nicht um ein *Wahrscheinlichmachen* auf die eine oder die andere Weise, sondern darum, einen *experimentellen Nachweis* für den aufgestellten Satz beizubringen.

---

gehalts der Ernte, der durch verfaulte Wurzeln etc. in den Boden übergegangene Stickstoff mitbestimmt werden musste.

G. Ville*) fand bei sehr verschiedenen Methoden der Versuchsanstellung, sei es nun, dass die Pflanzen einem Strom von ungewaschener oder von gänzlich ammoniakfreier Luft ausgesetzt wurden, und ebenso, wenn die Pflanzen in freier Luft wuchsen und ihr Wachsthum durch Anwendung von (mit in Rechnung gezogenen) Nitraten oder anderen stickstoffhaltigen Materien als Dünger gesteigert wurde, einen nicht ganz unerheblichen *Stickstoffzuwachs* der Versuchspflanzen, der nicht auf den Stickstoffgehalt des Bodens zurückgeführt werden konnte. Er schrieb diesen Gewinn der Assimilation von freiem unverbundenem Stickstoff zu und hob dabei hervor, dass das Verhältniss des gewonnenen Stickstoffs zu dem des hinzugefügten in den Fällen sich am Günstigsten erwies, wo kein stickstoffhaltiger Dünger angewandt wurde und wo der Gesammtbetrag an gebundenem Stickstoff in dem Bereich der Pflanze auf einige Milligramme sich belief, die in den ausgelegten Samen resp. den gesetzten jungen Pflänzchen enthalten waren. In solchen Fällen war zuweilen der Betrag des geerndteten Stickstoffs ungefähr 40 mal so gross, als der des vorher schon in gebundener Form vorhandenen. — In andern Fällen schien die Assimilation von freiem Stickstoff der Atmosphäre nur stattzufinden, wenn der Stand der Pflanzen durch Anwendung erheblicher Mengen stickstoffhaltiger Dünger verbessert worden war.

Den Boussingault'schen Versuchen wurde von G. Ville eine Reihe von Einwürfen gemacht, wesshalb jene zu unrichtigen Resultaten hätten führen müssen, die aber desshalb hier unerwähnt bleiben mögen, weil Boussingault in seinen spätern Versuchen den Nachweis lieferte, dass auch bei Vermeidung der ihm von Ville vorgehaltenen Unzulässigkeiten stets das gleiche Resultat gefördert wurde.

Die Ville'schen Resultate, die einiges Misstrauen erregt haben mochten, wurden nun von Seiten der pariser Akademie durch eine Commission, in der sich einzelne der namhaftesten Naturforscher Frankreichs (Regnault, Dumas etc.) befanden, kontrolirt, und merkwürdiger Weise auch unter den Augen dieser Commission wurde das gleiche Resultat erlangt.

So standen sich also in den Boussingault'schen und Ville'schen Versuchsresultaten und Folgerungen zwei Sätze gegenüber, von denen der eine genau das Entgegengesetzte aussagte, wie der andere, und für die es geradezu unmöglich schien, eine stichhaltige Vermittelung zu finden.

Bei diesem krassen Widerspruche in der experimentellen Beantwortung der uns beschäftigenden Frage war es natürlich, dass sich ausser den beiden zunächst Betheiligten eine grosse Anzahl von Forschern daran machten, Entscheidung zu bringen oder eine Art von Vermittelung zu versuchen. Diese letzteren Versuche sind z. Th. sehr zweifelhaft ausgefallen. So meinte Roy,**) ohne freilich durch irgend welche experimentelle Forschungen zu einer solchen Vermuthung berechtigt zu sein, dass den Pflanzen vielleicht nicht an sich die Fähigkeit zukommen möchte, den freien Stickstoff der Atmosphäre zu assimiliren, wohl aber, wenn dieser Stickstoff in Wasser gelöst durch die Wurzeln in die Pflanze aufsteige, und basirte auf diese unberechtigte Hypothese den Ausgleich zwischen den Boussingault'schen und Ville'-

*) Vergl. Compt. rend. T. 35. p. 464; T. 38. p. 705 u. 723; T. 41. p. 757.
**) Compt. rend. T. 39. p. 1133.

schen Resultaten, indem er nachzuweisen suchte, dass bei den Versuchen des letzteren eine bedeutendere Menge des stickstoffführenden Wasserstroms (in Folge der bei grösserem Luftwechsel gesteigerten Verdunstung) durch die Pflanze habe hindurchgehen müssen.

Von anderer Seite wurde anstatt müssiger Speculationen auf experimentellem Wege Klarheit zu erlangen gesucht, und die Versuche von Boussingault und Ville mit mancherlei Abänderungen wiederholt. Mène*) und später Harting und Gunning**) kamen durch derartige Versuche zu Resultaten, die völlig mit den von Boussingault erlangten identisch waren; sie schlossen, *dass es nicht erwiesen sei, dass die Pflanzen die Fähigkeit besässen, freien Stickstoff zu assimiliren.*

Es ist wichtig hervorzuheben, dass alle Diejenigen, die in der Folge die noch schwebende Frage *experimentell* bearbeiteten, auf Boussingault's Seite getreten sind und zu dem eben ausgesprochenen Resultate gelangten, während Ville nur von den Spekulirenden und Hypothesenmachern unterstützt ward.

Unter den Vertheidigern des Ville'schen Satzes sind noch zu nennen Cloëz und Gratiolet,***) die sich auf folgende weitschweifige Argumentation stützten. Dieselben hatten wahrgenommen, dass grüne Wasserpflanzen, von der Sonne beschienen, häufig anstatt des reinen Sauerstoffs, den man in Folge der Zerlegung von Kohlensäure erwarten sollte, ein Gas ausgeben, das ausserordentlich reich an Stickstoff ist. — Wir führen jetzt diesen richtigen Sachverhalt grossentheils auf den Gehalt des Wassers an atmosphärischer Luft zurück, indem die aufsteigenden Gasblasen sich nach den Untersuchungen von N. J. C. Müller†) mit dem Gasgehalt des Wassers, durch das sie streichen, umsetzen; derselbe wurde aber von Cloëz und Gratiolet zu ganz andern Folgerungen benutzt. Diese meinten, wenn die Pflanzen im Sonnenschein so viel Stickstoff ausgäben, so müssten sie auch viel aufnehmen, und da Ammoniaksalze nach Versuchen, die sie angestellt hatten, den Pflanzen schädlich seien, so musste wohl der freie Stickstoff als Nahrungsmittel der Pflanzen angesehen werden.

Dieselben gingen also in ihren Behauptungen noch viel weiter als Ville, indem sie sich für die *ausschliessliche* Bedeutung des freien Stickstoffs als stickstoffhaltiges Nahrungsmittel der Pflanze aussprachen, während jener nur die gelegentliche Aufnahme des freien Stickstoffs in gewissen Vegetationsstadien vertheidigt hatte. — Es darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass Cloëz††) 5 Jahre später noch einmal allein die Frage bearbeitet hat und nun zeigte, dass er selbst den früher innegehabten Standpunkt verlassen hat und auf Seiten Boussingault's steht, indem

*) Compt. rend. T. 32. p. 180.

**) „ „ T. 41. p. 942.

***) Cloëz und Gratiolet: Compt. rend. T. 31. p. 626; Annal. de Chim. et Phys. [3] 32. p. 41.

†) Pringsheim: Jahrb. VI. p. 478.

††) Compt. rend. T. 41. p. 935.

er die Ville'schen Resultate auf bis dahin nicht beachtete störende Umstände*) zurückzuführen sich bestrebte.

Man kann also sagen, dass Ville in der Folge keinen einzigen nennenswerthen Vertheidiger gefunden hat, dass nach ihm keine stichhaltigen Experimente angestellt worden sind, die für die von ihm behauptete Sachlage sprechen. Trotzdem ist bis in die neueste Zeit von ihm selbst die einmal vertheidigte These festgehalten worden, und er hat sie fort und fort durch Experimente zu stützen gesucht und dieselben wiederholt immer wieder bewiesen zu haben behauptet. Es ist desshalb von einiger Wichtigkeit, den wahrscheinlichen Grund der Fehlerhaftigkeit dieser vielen übereinstimmenden Resultate kennen zu lernen. Gerade in dieser Richtung haben mehrere der späteren Forscher gearbeitet, und es ist ihnen wohl gelungen, die wahrscheinliche Ursache dafür aufzufinden, dass die Ville'schen Versuchspflanzen einen so zweideutigen und für die Folgerungen verhängnissvollen Stickstoffzuwachs zeigten.

De Luca**) und ferner Cloëz***) zeigten, dass in einem porösen Materiale bei Gegenwart von Alkalien und von alkalischen Erden und von allen Stickstoffverbindungen gereinigter Luft unter gewissen Umständen (in Bezug auf die allerdings die Angaben der verschiedenen Experimentatoren nicht recht übereinstimmen) *auf Kosten des freien Stickstoffs Salpeterbildung* stattfinden kann. Wir werden sehr bald sehen, dass salpetersaure Verbindungen eines der Materialien sind, auf Kosten von denen die Pflanzen ihre stickstoffhaltigen Verbindungen zu bilden vermögen, und so wird in der That durch Nachweisung der Möglichkeit der Salpeterbildung auf Kosten von freiem Stickstoff in einem bodenähnlichen Material die Möglichkeit der *experimentellen* Richtigkeit der Ville'schen Versuche eröffnet, bei denen alsdann der freie Stickstoff *indirekt* als stickstoffhaltiges Nahrungsmittel der Pflanze hätte dienen und zu jener Folgerung hätte verleiten können.

Es muss dahingestellt bleiben, ob es auf die angedeutete Weise gelingt, die Abweichungen in den Ville'schen Resultaten zu erklären, da die Angaben über die Bedingungen der Salpeterbildung einander widersprechend sind, und nicht recht abzusehen ist, warum trotz Cloëz's Argumentation immer gerade nur bei den Ville-schen Versuchen Gelegenheit zu einer solchen Bildung vorhanden gewesen sein soll. Jedenfalls müssen wir uns aber nach den bis jetzt besprochenen Arbeiten der von Boussingault festgehaltenen Anschauung zuwenden, *dass es nicht nachgewiesen ist, dass freier Stickstoff von der höheren Pflanze zur Bildung ihrer stickstoffhaltigen organischen Substanz aufgenommen wird.*

Dazu kommen die Resultate der ausserordentlich umfangreichen Arbeiten von Lawes, Gilbert und Pugh,†) in denen alle möglichen Einwürfe berücksichtigt wurden, die ganze Frage von jeder Seite beleuchtet ward, und die schliesslich die Boussingault'schen Resultate glänzend bestätigten. Diese durch ihre Ausdehnung, Gründlichkeit und Grossartigkeit in der Anlage höchst merkwürdigen Arbeiten, die

*) Salpeterbildung im Boden.

**) Compt. rend. T. 41. p. 1251.

***) A. a. O.

†) Philosoph. Transact. 1861. Vol. 151. II. p. 431.

ein Muster sind für viele in ähnlichem Massstabe in England und namentlich von den beiden Erstgenannten ausgeführte Untersuchungen, bedürfen noch eines näheren, wenn auch nur sehr skizzenhaften Eingehens.

Die genannten Forscher hielten die Frage nach der Assimilation des freien Stickstoffs nach den bisher erwähnten Versuchsanstellungen für durchaus unerledigt und wiesen namentlich auf gewisse durch ihre eignen Felddüngungsversuche präcisirte Erscheinungen in der landwirthschaftlichen Praxis hin, die nach den bis dahin bekannten Thatsachen durchaus räthselhaft erscheinen mussten und nach ihrer Ansicht eine nochmalige Erörterung der Stickstofffrage dringend erheischten. Als solche Erscheinungen bezeichneten dieselben folgende:

Wenn sie eine Fläche Landes mit den gewöhnlichen Kulturgewächsen bebauten und dabei genau in Bezug auf die Produktion an stickstoffhaltiger organischer Substanz controlirten, so fanden sie, dass für die jährlich verfügbar werdende Stickstoffmenge eine bis dahin unbekannte Quelle zu Gebote stand. Wurden auf einem Felde mehrere Jahre hintereinander Cerealien gebaut, so sank nach einigen Jahren die Produktion an stickstoffhaltiger Pflanzensubstanz auf ein Minimum herab, auf dem sie dann, ohne weitere Verminderung zu erleiden, verharrte. — Wurden jedoch zwischen die einzelnen Ernten von Cerealien Klee oder Erbsen eingeschoben, so konnten weit grössere Mengen von stickstoffhaltiger Pflanzensubstanz in dem Weizen oder der Gerste, die darauf folgte, geerntet werden, trotzdem der Klee oder die Erbsen selbst sehr grosse Mengen von Stickstoff geliefert hatten.

Diese so durch exakte Feldversuche festgestellte Thatsache (der, wie wir später sehen werden, namentlich der Klee seine eigenthümliche Stellung in der Fruchtfolge verdankt) war auffallend genug, um neben der periodisch für die Pflanzen zur Verfügung stehenden Menge von Stickstoff, den Stickstoffverbindungen, die im Regenwasser enthalten sind und regelmässig auf den Acker gelangen,*) eine weitere Quelle anzunehmen und die Frage nach der Assimilationsfähigkeit des freien Stickstoffs noch einmal ernster in's Auge zu fassen.

Ehe Lawes, Gilbert und Pugh an die direkte experimentelle Bearbeitung der von Neuem aufgeworfenen Stickstofffrage gingen, glaubten sie — ebenfalls durch Versuchsanstellungen — noch eine grössere Reihe von Vorfragen beantworten zu müssen, um sich vor jedem denkbaren Einwurf gegen die Unzweideutigkeit der endgültig erhaltenen Versuchsresultate zu schützen. Gerade die grosse und durch die verschiedensten Erklärungsversuche noch immer nicht völlig aus der Welt geschaffte Differenz in den von Ville und Boussingault erlangten Resultaten war ein vortreffliches Warnungszeichen und drängte dahin, bei neuen Versuchen, durch Erledigung aller Vor- und Zwischenfragen, die Resultate in ihrer Deutung unanfechtbar zu machen.

So fassten die genannten Forscher namentlich folgende Eventualitäten in's Auge, durch die ihre Hauptresultate möglicher Weise beeinflusst werden konnten: die *etwaige Wirkung des Ozon auf die Ueberführung von freiem Stickstoff in Salpetersäure* oder andere Stickstoffverbindungen; *die Zersetzung stickstoffhaltiger*

*) Welche wir sehr bald kennen lernen werden.

organischer Verbindungen im Boden und die etwaige Entstehung von freiem Stickstoff; die etwaige Entbindung von Wasserstoff im Boden und die hierbei stattfindende Ueberführung von freiem Stickstoff in Ammoniak. — Kurz es wurden alle Möglichkeiten des Uebergangs von freiem Stickstoff in die gebundene Form und umgekehrt berücksichtigt.

Die erste der zu erörternden Vorfragen, nach der Möglichkeit der Ueberführung von freiem Stickstoff zu Oxydationsstufen desselben durch Ozon wurde nun wieder in Unterabtheilungen zerlegt, die also lauteten:

Ist während des Pflanzenwachsthums Ozon in den pflanzlichen Geweben nachzuweisen?

Wenn dies der Fall ist, gibt es Umstände, wo durch dieses Ozon freier Stickstoff oxydirt werden kann?

Ist Salpetersäure in dem Pflanzengewebe anwesend, deren Auftreten auf diese Weise erklärt werden muss, die also kein Produkt der Lebensthätigkeit ist?

Diese Reihe von Fragen wurde nun zuerst zu beantworten gesucht. Durch eine grosse Anzahl von Versuchen wurde festgestellt, dass kein Ozon in dem Gewebe lebender Pflanzen enthalten ist, dass vielmehr sich daselbst Substanzen vorfinden, die so ausserordentlich leicht oxydirbar sind, dass selbst die grünen Pflanzentheile nur ganz kurze Zeit im Schatten zu verweilen brauchen, um keinen Sauerstoff mehr zu enthalten, und dass Pflanzen, deren Leben zu Ende ist, sogar Wasser zu zersetzen und daraus Wasserstoff zu entwickeln vermögen. — Daraus wurde nun geschlossen, dass es unwahrscheinlich sei, wenn auch unter gewissen Umständen Ozon in den lebenden Pflanzen vorkäme, dass dieser Körper, bei der hohen Oxydirbarkeit der vorhandenen organischen Körper, den freien Stickstoff daselbst zu oxydiren vermöchte.

Es muss hierbei erwähnt werden, dass allerdings nach Versuchen von de Luca*) in der Nähe lebender Pflanzen Ozon in geringen Mengen aufzutreten pflegt, wie den englischen Versuchsanstellern bekannt war. Diese hoben aber auf die von ihnen angestellten obenerwähnten Versuche hin hervor, dass dieses Ozon wohl nicht *in den Pflanzen,* sondern mit Wahrscheinlichkeit durch die von den Pflanzen ausgegebenen ätherischen Oele, welche ja — ich erinnere an die bekannte Ozonerregende Eigenschaft des Terpentinöls — die Fähigkeit, den Sauerstoff aktiv zu machen, unter gewissen Umständen besitzen, in deren Umgebung erzeugt werde, denn in dem ersteren Falle müsste das gebildete Ozon sogleich zur Oxydation jener leicht oxydirbaren organischen Substanzen dienen und wieder verschwinden.

Durch solche Argumentation suchten Lawes, Gilbert und Pugh es unwahrscheinlich zu machen, dass das Ozon in der lebenden Pflanze zur Ueberführung des freien Stickstoffs in Salpetersäure (in eine Form, in der die Pflanze denselben, wie wir vorausgeschickt haben, verwerthen kann) diene, und wir müssen ihnen zugestehen, dass sie es sehr unwahrscheinlich gemacht haben. Der Beweis dafür, dass etwas dergleichen thatsächlich nie stattfinden kann, ist natürlich direkt nie beizubringen.

Sodann wurde dieselbe Frage nach der Fähigkeit des Ozons, Salpeterbildung

*) Landw. Centralbl. 1858. I. p. 87.

auf Kosten von freiem Stickstoff herbeizuführen, *für den Boden* discutirt. Ozonisirte Luft wurde mit den allerverschiedenartigsten Bodencompositionen, die z. Th. alkalische Substanzen enthielten, einen ganzen Sommer über durch beständiges Ueberleiten in Berührung gebracht. Wir haben vorhin schon erwähnt, dass Cloëz und de Luca bei derartigen Versuchen zu dem Resultate kamen, dass unter solchen Umständen Salpeterbildung nicht etwa allein auf Kosten von verwesenden stickstoffhaltigen organischen Substanzen, denn diese Thatsache war längst festgestellt und allgemein bekannt, sondern auch auf Kosten von freiem Stickstoff stattfinden könne. — Die englischen Forscher gelangten bei theilweise ganz ähnlichen Versuchsanstellungen zu dem *entgegengesetzten Resultate.* In keinem ihrer Versuche konnte die Oxydation von Stickstoff, eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs in den bodenähnlichen Gemischen nachgewiesen werden.

Alsdann discutirten die drei unermüdlichen Forscher die Frage nach der Entbindung von freiem Stickstoff aus verwesenden stickstoffhaltigen organischen Stoffen, obgleich dieselbe mit der ihnen vorliegenden*) Hauptfrage in keinem so folgeschweren Zusammenhange steht. Auch hier wurden wieder mehrere Methoden der Beantwortung versucht, einmal der freiwerdende Stickstoff als solcher, ein andermal die Verminderung der stickstoffhaltigen organischen Substanz zu bestimmen gesucht. Man fand Dasselbe, was schon früher durch ähnliche Versuche von Reiset**) u. Ville***) gezeigt worden war, dass häufig bedeutende Mengen von freiem Stickstoff durch sich zersetzende stickstoffhaltige organische Substanzen ausgegeben werden.

In dieser Weise wurden noch alle weiteren möglichen Vorfragen mit bewunderungswürdiger Geduld (wenn auch vielleicht zuweilen mit unnöthiger Umständlichkeit) bearbeitet, bis man zu dem Schluss sich berechtigt glaubte, dass man bei Entscheidung der Hauptfrage, nach der Assimilation des freien Stickstoffs, *keinerlei Uebergang von freiem Stickstoff in gebundenen in den hierzu anzuwendenden Apparaten zu befürchten habe.*

So waren die genannten Forscher denn befähigt, diese Hauptfrage selbst in Angriff zu nehmen, welche sie dann durch ihre Versuche, deren Methoden nicht weiter beschrieben zu werden brauchen, dahin entschieden, *dass Nichts zu der Annahme berechtige, der freie Stickstoff werde von den Pflanzen assimilirt.*

In dieser allen möglichen Einwürfen Rechnung tragenden Beweisführung war also die völlige Bestätigung der Boussingault'schen Schlussfolgerung gegeben, die Ville'sche Behauptung aber durch dieselbe widerlegt. — Wir wollen uns nun nicht weiter den Kopf darüber zerbrechen, auf welche Weise die Ville'schen Resultate erlangt werden konnten, ob dennoch, wie dies die Versuche von Cloëz wahrscheinlich gemacht haben, ein Uebergang von freiem Stickstoff in gebundenen bei seiner Versuchsanstellung möglich war, oder ob, wie dies die Versuche von Lawes, Gilbert und Pugh wahrscheinlich machen, grobe Versuchsfehler vorge-

*) Die durch Stattfinden eines derartigen Processes sich ergebenden Versuchsfehler würden im entgegengesetzten Sinne wirken, als alle übrigen discutirten Eventualitäten.

**) Compt. rend. T. 42. p. 53.

***) Ibid. T. 43. p. 143.

kommen sind, oder ob endlich sonst ein noch unerklärtes Etwas sich geltend machte, — sondern es ruhig *als übereinstimmendes Resultat fast aller einschlägigen Versuche hinnehmen, dass der freie atmosphärische Stickstoff nicht als Nahrung der höheren Pflanze dienen kann.*

Das grosse unerschöpfliche Reservoir von Stickstoff in der atmosphärischen Luft, von der er vier Fünftheile ausmacht, ist also als Nahrungsmittel der Pflanze ganz und gar verloren. — Es ist dies eine Thatsache von grosser praktischer Bedeutung, da (wie wir bald sehen werden) diejenigen Stoffe, aus denen allein die Pflanze ihren Stickstoff zu schöpfen vermag, in der Natur nur in sehr zurücktretender Menge vorhanden sind. — Wir werden auf dieses Verhalten im zweiten Theile unserer Vorlesungen, wo von den wirthschaftlichen Folgerungen aus den naturwissenschaftlich festgestellten Thatsachen die Rede sein wird, öfters zurückkommen und folgenschwere Sätze darauf aufbauen.

Es ist nun noch kurz zu erwähnen, dass das Ebenausgesagte nicht nur *für die chlorophyllführende Pflanzenwelt*, sondern auch *für die übrige Pflanzenwelt und überhaupt die ganze chlorophyllfreie Organismenwelt* — soweit die Versuche reichen — Geltung zu haben scheint. Es ist, obschon die chemische Form, in der die verschiedenen Organismengruppen, ihren Stickstoffgehalt sich anzueignen, angewiesen sind, eine ausserordentlich verschiedene ist, (wie es scheint) kein einziger Organismus befähigt, den freien Stickstoff zu assimiliren, obgleich dies namentlich für Schimmelpilze schon wiederholt, aber freilich ohne genügenden experimentellen Nachweis behauptet worden ist.*) Es ist nachgewiesen worden, dass sowohl niedrige chlorophylllose Organismen, wie Infusorien,**) Hefepilze***) u. a., als auch niedrige chlorophyllführende, wie Algen†), nur dann sich entwickeln, wenn ihnen der Stickstoff in gebundener Form, die freilich für verschiedene Klassen auch eine verschiedene ist, zugeführt wird. *Die Abwesenheit oder Anwesenheit des Chlorophyllorgans* scheint überhaupt keinen tiefgreifenden Unterschied in Bezug auf die Form der Stickstoffaufnahme zu veranlassen. — Dass höhere Thiere den freien Stickstoff als Bildungsmaterial ihrer organischen stickstoffhaltigen Bestandtheile aufzunehmen vermöchten, ist begreiflicher Weise wohl niemals behauptet worden.

Für jetzt müssen wir uns in Bezug auf die Stickstoffernährung der grünen Pflanzen mit vorstehendem negativen Resultate begnügen. In der nächsten Vorlesung werden wir dann die Frage nach dem stickstoffhaltigen Nahrungsmittel der Pflanze positiv zu erledigen suchen.

*) Z. B. Hallier: Gährungserscheinungen. Leipzig 1867. p. 22.

**) Morren: Compt. rend. T. 38. p. 932.

***) Pasteur: Ann. de Chimie et Phys. [3] T. 58; Adolf Mayer: Untersuchungen über die alk. Gährung etc. 1869. p. 64. u. a. vielen andern Orten.

†) Morren A. a. O.

Elfte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanze. — Die chemische Form der Stickstoffaufnahme.

Nachdem wir in der letzten Vorlesung gesehen haben, dass es *der freie atmosphärische Stickstoff nicht ist*, mit Hülfe dessen die Pflanzen ihre stickstoffhaltigen organischen Substanzen erzeugen, wollen wir nun die andern möglichen Quellen der Aneignung dieses Elementes in derselben Weise einer Prüfung unterziehen.

Wir haben als solche mögliche Quellen die Stickstoffverbindungen, aber zunächst nur die *anorganischen* Stickstoffverbindungen zu berücksichtigen, da die organischen Verbindungen dieses Elements, wenn sie auch als Nahrungsmittel der Pflanzen (worüber wir hier noch nicht zu entscheiden haben) dienen können, unmöglich das *einzige* stickstoffhaltige Nahrungsmittel der chlorophyllhaltigen Pflanzenwelt sein können, — desshalb nicht sein können, weil wir in diesem Reiche eine *dauernde Zunahme und stete Produktion* an solchen Substanzen constatiren konnten. Ich erinnere hier an die Eingangs der zunächst hinter uns liegenden Vorlesung angestellten Betrachtungen, die uns zu dem Resultate führten, dass gerade wie die grüne Pflanzenwelt organische stickstofffreie Substanzen producirt und desshalb anorganische kohlenstoffhaltige Nahrungsmittel in sich aufnehmen muss, dieselbe auch *organische stickstoffhaltige Substanz stetig hervorbringt* und *desshalb anorganische stickstoffhaltige Nahrungsmittel besitzen muss.* Diese Folgerung ist — wir haben Dies schon genugsam betont — unabweisbar.

Von solchen anorganischen stickstoffhaltigen Stoffen kommen in der Natur nur einige wenige vor. Es sind dies die in der vorigen Vorlesung bei der Beweisführung der Werthlosigkeit des unverbundenen Stickstoffs für die Pflanze häufig erwähnten *Ammoniak-* und *Salpetersäure-Verbindungen* (strenggenommen auch die salpetrigsauren Salze).

Es ist einleuchtend, dass man, bei dem schon aus gewissen Erfahrungen in der Praxis hervorgehenden Zweifel an der Assimilirbarkeit des atmosphärischen Stickstoffs, auch schon *ehe der experimentelle Nachweis der Nichtassimilirbarkeit gelungen war,* die genannten Stoffe als *vermuthliche* Nahrungsmittel der Pflanze in's Auge fasste; *mit voller Bestimmtheit* konnte man aber erst *nach* Entscheidung jener Frage schliessen, dass *mindestens einer* jener Stoffe die gesuchte Quelle für die Entstehung der stickstoffhaltigen organischen Substanz sei. — Es handelte sich darum, die experimentelle Bestätigung dieser Vermuthungen und Schlüsse beizubringen, und namentlich auch zu entscheiden, *welcher jener Stoffe* das gesuchte stickstoffhaltige Nahrungsmittel sei. Im Grunde liess sich a priori nichts über diese letztere Frage voraussagen; Liebig suchte indessen, gestützt auf theoretische Gründe, eine Zeit lang wahrscheinlich zu machen, dass das Ammoniak das ausschliessliche stickstoffhaltige Nahrungsmittel der Vegetabilien sei.

Wir werden auch hier wieder die experimentelle Beweisführung in der geschichtlichen Folge ihrer Beibringung vorzuführen haben, und zwar zuerst für die *Salpetersäureverbindungen*, da für diese Substanzen der Beweis, dass sie als Pflanzennahrungsmittel dienen können, am Frühesten beigebracht worden ist, obwohl

man sie als solche erst später in's Auge gefasst hat, als die Ammoniakverbindungen.

Dass salpetersaure Salze als Düngemittel vortheilhaft wirken, ist schon in früher Zeit bekannt gewesen. Es liegen Angaben *) vor, dass in England schon zur Zeit Karl I. Düngungsversuche mit Salpeterlösungen ausgeführt worden seien. In späterer Zeit wurden dann hie und da wieder Versuche mit diesem Düngemittel angestellt, und bei den allgemein günstigen Resultaten, die man erhielt, scheint es nur der hohe Preis des Salpeters gewesen zu sein, der es bis zur neusten Zeit verhinderte, dass derselbe als Düngemittel grössere Verbreitung erlangte. Erst nach Entdeckung des Chilisalpeters wurden die Preise eines salpetersauren Salzes so niedrig, dass die Landwirthschaft bei Verwendung desselben ihre Rechnung fand; und vom Jahre 1831 an scheint diese Verbindung als Düngemittel zunächst in England allgemeinere Verwendung gefunden zu haben.

So war, auch bei mässiger praktischer Verwendung eigentlicher Salpeterdüngungen, schon in früher Zeit bekannt, *dass salpetersaure Verbindungen das Pflanzenwachsthum zu fördern vermögen* und so lag der Gedanke nahe, *in den salpetersauren Verbindungen eine Quelle für den Stickstoff der Pflanzen* zu vermuthen, namentlich, da auch seit langer Zeit Vorgänge im Boden bekannt waren, bei denen salpetersaure Verbindungen sich bilden. Ich erinnere nur an die älteren Methoden der Salpetergewinnung in den sogenannten Salpeterplantagen, wo geradezu vermittelst der Erde, wie sie auf unsern Feldern liegt, vorausgesetzt, dass sie genügende Mengen von Kalk (oder andern alkalischen Substanzen) und verwesende stickstoffhaltige organische Stoffe, vorzüglich thierische Abfälle enthält, salpetersaure Salze erzeugt werden.

Man brauchte nur an diese bekannten Vorgänge zu denken, um sich bewusst zu werden, dass auch in der gewöhnlichen Ackererde gar oft Salpeterbildung stattfinden müsse, da in derselben regelmässig alle jene Bedingungen hiezu, als da sind: Porosität, Anwesenheit von Kalk und stickstoffhaltigen verwesenden Stoffen und Sauerstoffzutritt vereinigt vorkommen, und man sich ja gerade in den gewöhnlichen Methoden der Düngung stets von Neuem bemühte, durch Zufuhr stickstoffhaltiger organischer Stoffe, die Bedingungen dazu von Neuem wieder herzustellen.

Trotzdem aber durch dieses Verhältniss auf die wahrscheinliche Bedeutung der salpetersauren Verbindungen als direkter Pflanzennährstoff hingedeutet ist, so war es doch bis in die neuere Zeit fast lediglich das Ammoniak, dem man in seinen Verbindungen die ausschliessliche Fähigkeit **) zuschrieb, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen. Kuhlmann***) ging sogar so weit, die von ihm in Düngungsversuchen wohl beobachtete thatsächliche Wirksamkeit der salpetersauren Salze auf

*) Heiden: Düngerlehre 1868. II. p. 359.

**) Vergl. H. v. Mohl: Die vegetabilische Zelle. 1851. p. 245 und Liebig: Die organische Chemie in ihrer Anwendung etc. 1840. p. 64—84. Von Letzterem wurden indess bald Concessionen gemacht, vergl. die Auflage desselben Werkes v. 1843. p. 303.

***) Annal. Chim. et Phys. T. 20. p. 223.

deren Ueberführung in Ammoniak im Boden zurückzuführen, eine Auffassung, deren Unrichtigkeit später von Grouven*) zur Genüge dargelegt worden ist.

Eine strenge Beweisführung dafür, dass die salpetersauren Salze fähig sind, die Pflanze mit Stickstoff zu versorgen, war natürlich nur durch Vegetationsversuche, bei welchen die gewöhnliche Erde mit ihrem Reichthum an organischen stickstoffhaltigen Stoffen völlig ausgeschlossen war, möglich. Eine solche Beweisführung wurde mit genügender Strenge erst von Boussingault [1]) für Pflanzen, die er in ausgeglühtem Sande zog, von Knop [2]) vermittelst der Wasserkulturmethode beigebracht. Doch führen auch die Arbeiten vieler Anderer, von Ville [3]), Salm-Horstmar [4]), Stohmann [5]), Rautenberg und G. Kühn [6]) zu demselben Resultate. Boussingault zog Sonnenblumen und Kresse aus dem Samen in einem Boden, der nur aus anorganischen Substanzen bestand und von Stickstoffverbindungen nur Salpeter enthielt, unter Vervielfachung des Stickstoffs des Samens bis zu mehr als der Verfünfzigfachung des ursprünglichen Gehalts, während sonst gleich behandelte Pflanzen, die in salpeterfreiem Boden wuchsen, nur ganz unwesentliche Stickstoffvermehrung (welche auf die in der Atmosphäre enthaltenen Stickstoffverbindungen zu setzen war) zeigten.

Knop gelang es vermittelst der „Wasserkulturmethode," einer Methode, der man sich in neuerer Zeit häufig bedient, um Pflanzen unter genauer Kontrole dessen, was sie in sich aufnehmen, zu erziehen, und die einfach darin besteht, dass man die Wurzeln der Pflanzen von der Keimung an, anstatt in einem bodenähnlichen porösen Gemische fester Theilchen, das nur mit Flüssigkeit durchtränkt ist, in wässrigen Lösungen †) sich entwickeln lässt, genau Dasselbe zu erweisen und Pflanzen in rein anorganischen Lösungen, in denen von stickstoffhaltigen Verbindungen nur salpetersaure Salze vorhanden waren, fast völlig normal, also selbstverständlich unter Vervielfachung des ursprünglichen Stickstoffgehalts derselben zu erziehen.

Derartige Versuche sind ausserdem später häufig wiederholt worden, und es ist durch dieselben immer wieder von Neuem der Beweis geliefert worden, dass die Salpetersäure wohl im Stande ist, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen, ja dass sie in den meisten Fällen *als alleinige Stickstoffquelle* dienen kann, da ohne Zufuhr irgend einer anderen stickstoffhaltigen Substanz eine völlig normale Entwickelung an den Pflanzen beobachtet wurde.

Wenn die grünen Pflanzen in einem rein anorganischen Boden, der von Stickstoffverbindungrn nur salpetersaure Salze enthält, häufig nicht so üppig gedeihen, als in einem Boden, der verwesende organische Stoffe enthält, so liegt dies sicher

---

*) Grouven: Agronomische Zeitung 1857. p. 761.

[1]) Boussingault: Agronomie etc. I. p. 163.

[2]) Lehrbuch d. Agrikulturchemie 1868. I. p. 601 ff. u. Landw. Versuchsst. 1860. B. II. p. 73.

[3]) Compt. rend. T. 41. p. 938 u. 987 u. T. 43. p. 85, 612 u. 832.

[4]) Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanzen 1856. p. 26 ff.

[5]) Henebergs Journal. 1864. p. 65.

[6]) „ „ p. 107.

†) Es wird von dieser Wasserkulturmethode, die für die experimentelle Erforschung der Pflanzenernährung von hoher Bedeutung ist, noch ausführlicher die Rede sein.

nicht an dem Bedürfniss dieser Pflanzen noch stickstoffhaltigen organischen Stoffen, sondern an andern Vortheilen (von welchen später die Rede sein wird), die ein solcher Boden den Pflanzen darzubieten vermag, und die wir in einem anorganischen Boden oder einer Lösung nicht so nachzuahmen verstehen.

Der eben ausgesprochene Satz, der für die höhere chlorophyllhaltige Pflanzenwelt völlig sicher dasteht, gilt jedoch *nicht für die gesammte Pflanzenwelt.* Ueberhaupt muss man sich in Bezug auf die Stickstoffaufnahme der Organismen sehr vor vorschnellen Verallgemeinerungen hüten. Ob die höheren Schmarotzer unter den Pflanzen, also die chlorophylllosen Phanerogamen, deren es eine kleine Anzahl gibt, bezüglich der Assimilation ihres Stickstoffbedarfs sich ihren chlorophyllhaltigen Verwandten zur Seite stellen, oder ob sie darauf angewiesen sind, neben schon vorgebildeter organischer stickstofffreier Substanz auch organische stickstoffhaltige Substanz in sich aufzunehmen, darüber ist wegen mangelnder Ernährungsstudien an diesen Organismen noch nichts bekannt.

Dagegen haben wir, Dank den Arbeiten Pasteur's und mehrerer Anderer, einige Kenntnisse von der Art der Stickstoffassimilation der weit verbreiteten kryptogamen chlorophyllfreien Pflanzen. Für gemeine fruktificirende Schimmelpilze ist von Pasteur*) gezeigt worden, dass sie blos der Zufuhr organischer stickstofffreier Materie bedürfen, während sie ihren Stickstoffbedarf aus Ammoniak- sowohl wie aus Salpetersäure-Verbindungen zu schöpfen vermögen. — Aber es wäre fehlerhaft, das Resultat dieser Erfahrung auf eine grössere Klasse von Organismen oder auch nur auf alle Pilze auszudehnen; denn es ist bewiesen worden **), dass ein Hefepilz (Cryptococcus cerevisiæ) sich wohl spärlich auf Kosten von Ammoniakverbindungen zu ernähren vermag, aber durchaus *unfähig* ist, sich mit *salpetersauren Verbindungen* fortzubringen, bei Weitem am Ueppigsten aber erhalten und zur Leistung seiner Funktionen befähigt wird durch Ernährung gewisser noch wenig gekannter *organischer* stickstoffhaltiger Stoffe (für die das Pepsin ein Repräsentant ist).

Die Möglichkeit der Ernährung durch Salpetersäure, für die höheren chlorophyllhaltigen Pflanzen ***) mit aller Bestimmtheit nachgewiesen, ist also nicht für *alle pflanzlichen Organismen* vorhanden, sondern es gibt nachgewiesener Massen solche, die sich (von anorganischen Stickstoffverbindungen) nur auf Kosten von Ammoniak, besser aber von gewissen organischen Stickstoffverbindungen zu ernähren vermögen. Wir erwähnen dies, abschweifend von unserer eigentlichen Betrachtung der Ernährung der chlorophyllführenden Organismen, um uns vor unzulässigen Verallgemeinerungen zu hüten, die von anderer Seite auch in diesem Falle vorschnell gezogen wurden, aber *um so unberechtigter* sind, als sich theoretisch noch durchaus Nichts, auch nur über die Wahrscheinlichkeit der einen oder der andern Art der Ernährung für irgend eine neue Organismengruppe, voraussagen lässt.

---

*) Annal. Chim. et Phys. III. Serie. T. 64. p. 107. Note.

**) Adolf Mayer: Untersuchungen über die alkoholische Gährung etc. 1869. p. 67 und 69.

***) Für niedere chlorophyllhaltige Pflanzen (Algen) ist durch Bineau (Mémoires de l'Académie des Sciences à Lyon. T. III. p. 853) bewiesen, dass sie sich sowohl auf Kosten von Ammoniak als von salpetersauren Verbindungen (in Bezug auf Stickstoff) zu ernähren vermögen.

Nachdem wir zu dem Resultate gelangt sind, dass *salpetersaure Salze ein zweckdienliches stickstoffhaltiges Nahrungsmittel* der höheren chlorophyllführenden Pflanzen darstellen, drängt sich uns die Frage auf, *welche salpetersauren Salze* es denn sind, die die Pflanze mit Stickstoff zu versorgen vermögen? — Wir sind im Stande, diese Frage kurz dahin zu beantworten, dass die Salpetersäure in Verbindung mit allen denjenigen anorganischen Basen aufgenommen werden kann, die entweder als solche unentbehrlich für die Pflanzen, oder sonst aus irgend welchen (zum Theil später zu erörternden) Gründen regelmässige Bestandtheile derselben sind, d. h. also in Form von salpetersaurem Kalk, Kali, Magnesia, Natron, Ammoniak und wahrscheinlich auch als salpetersaure Eisenverbindung (ferner auch als Verbindung mit einer jener wenigen organischen Substanzen von basischen Eigenschaften, die von den in Rede stehenden Pflanzen ertragen werden). Kurz, man kann sagen — und dies ist ein Satz, dessen Analoga von ziemlich allgemeiner Gültigkeit für die Pflanzenernährung sind, dass der Nährstoff Salpetersäure *in Verbindung mit beliebigen basischen Stoffen, wenn diese nur an sich für die Pflanze unschädlich sind,* von derselben aufgenommen werden können; und gerade in dem durch diesen Satz ausgedrückten Verhalten liegt offenbar der Grund, dass man nicht von jedem der möglicher Weise von der Pflanze aufgenommenen Salze als einem Nährstoffe derselben spricht, sondern die Säuren und die Basen, obgleich diese selbstverständlich niemals im ungebundenen Zustande aufgenommen werden, als Nährstoffe bezeichnet. Die ungenauere Ausdrucksweise hat hier den Vortheil einer Verallgemeinerung, die keine wesentlichen Ausnahmen erleidet.

Von den eigentlichen Aufnahmsgesetzen der einzelnen Pflanzennährstoffe und damit der Salpetersäure (um diesen Sprachgebrauch zu adoptiren) wollen wir in einem spätern Kapitel sprechen.*) Hier will ich nur bemerken, dass dieselbe nicht etwa wie die Kohlensäure grossentheils durch die oberirdischen Organe, sondern lediglich durch die Wurzeln erfolgen muss, da die genannten salpetersauren Verbindungen sammt und sonders bei gewöhnlicher Temperatur keine irgendwie erhebliche Flüchtigkeit besitzen. Eigentlich genügt uns aber vor der Hand bei Abhandlung der einzelnen Nährstoffe zu wissen, dass sie sich in irgend einer Form in den Medien befinden, mit denen die Pflanze in Berührung kommt, da die Art und Weise des Uebergangs der Nährstoffe in die Pflanze einer viel allgemeineren Behandlung fähig ist und nicht für jeden einzelnen Stoff besprochen zu werden braucht.

Wir gehen nun weiter und fragen: *ist die Salpetersäure die einzige Stickstoffverbindung, die die höhere chlorophyllgrüne Pflanze zur Befriedigung ihres Bedarfs an Stickstoff in sich aufnimmt?*

So entschieden diese Frage bei dem Beginn der Erörterung der Art der Stickstoffaufnahme verneint worden wäre, so entschieden gerade das Ammoniak von vornherein als das vorzüglichste stickstoffhaltigste Nahrungsmittel der höheren Pflanze betrachtet worden war, so sind doch neuerdings eine Zeit lang Stimmen laut geworden, die sich anschickten, dieselbe ganz entschieden zu bejahen. Knop**) war

*) Achtzehnte bis einundzwanzigste Vorlesung.

**) Landw. Versuchsstationen B. VII. p. 107; sobald übrigens experimentelle Beweise des Gegentheils vorhanden waren, hat Knop natürlich diese erste Meinung aufgegeben.

es z. B., der eine Zeit lang diese Anschauung, gestützt auf seine Vegetationsversuche, vertrat und sich dabei wohl auch von der theoretischen Deduktion, dass, da die (höhere chlorophyllführende) Pflanze überhaupt von „vollkommen verbrannten Körpern" lebe, dies auch in Bezug auf den Stickstoff der Fall sein werde, leiten liess. Eine ganz ähnliche Ansicht ist auch von Balling *), der sich auf ganz denselben Gedankengang stützte, aufgestellt worden. Wenn durch Düngungen mit Ammoniakverbindungen gute Resultate erlangt worden seien, so seien diese vorher durch Oxydation in der Ackererde in salpetersaure Salze übergegangen, meinte dieser Letztere geradezu **). Diese Ansicht repräsentirt also die vollständige Umkehrung der vorhin erwähnten, einst von Kuhlmann vertheidigten, der dem Salpeter nur eine indirekte Wirkung zuschrieb und dessen Uebergang in Ammoniak in der Ackererde behauptete. Es ist dies Verhältniss charakteristisch dafür, wie Manche stets die einmal nicht aus der Welt zu schaffenden Thatsachen nach ihren theoretischen Anschauungen zurecht zu stutzen bestrebt sind, da ihnen von diesen zu scheiden allzu schmerzlich ist.

Wir haben bei dieser Sachlage die Beweise, wenn es solche gibt, dafür hervorzusuchen, dass auch andere stickstoffhaltige Körper ausser den salpetersauren Verbindungen die Pflanzen direkt mit Stickstoff zu versorgen vermögen. Die Thatsache, dass ammoniakalische Dünger häufig ausgezeichnete Wirkung zeigen, ist wegen des möglichen eben angeführten Einwurfs, dass vorher Uebergang in Salpetersäure stattfinde, auch bei der Unwahrscheinlichkeit des ausnahmslosen Eintritts dieses Uebergangs nicht streng beweisend. Es handelt sich daher um die Beweisführung durch den direkten Vegetationsversuch. Als solcher mag, soweit es sich um Aufnahme der Ammoniaksalze durch die Wurzel handelt, der Versuch von Ville ***) vom Jahre 1856 gelten, welcher Weizenpflanzen in ausgeglühtem Sande zog, dem die nothwendigen Aschenbestandtheile und ausserdem stickstoffhaltige Substanz lediglich in Form von Ammoniaksalzen zugesetzt waren. Bei einer solchen Bodenmischung war offenbar keine Möglichkeit vorhanden, dass die Ammoniakverbindungen in salpetersaure Salze übergehen konnten, — eine Hypothese, deren Zulässigkeit alle erfolgreichen Düngungsversuche mit Ammoniakverbindungen im freien Felde oder in einer gewöhnlichen Bodenmischung, wo die Bedingungen der Salpeterbildung fast immer vorhanden zu sein scheinen, ihrer Beweiskraft berauben. Der Ville'sche Versuch lehrt nun in der That, dass Salmiak, salpetersaures Ammoniak und phosphorsaures Ammoniak die Fähigkeit besitzen, ansehnliche Stickstoffzuwächse bei den Pflanzen gegenüber denen, die keine Stickstoffdüngung empfangen hatten, zu bewirken. Während der Stickstoff einer Weizenpflanze, die ohne Stickstoffzufuhr gewachsen war, 0,058 Gr. im Mittel betrug, zeigten die in der ammoniaksalzhaltigen Erde im Mittel einen Stickstoffgehalt von 0,136 Gr. Das Plus von 0,08 Gr. pro Pflanze ist hier

*) Citirt in Heidens Düngerlehre. „Komers: Jahrb. für österreichische Landwirthe. II. Jahrg. p. 39."

**) Freilich giebt Balling merkwürdig genug als diejenige Verbindung, in der die Salpetersäure in die Pflanze übergehe, das salpetersaure Ammoniak an, was doch beinahe wie ein Versehen aussieht.

***) Compt. rend. T. 43. p. 612.

nur in Folge der Assimilation von Ammoniakverbindungen zu erklären. Aehnliche Resultate sind mittelst der Wasserkultur später von G. Kühn *) und Hampe **) erlangt worden. — Was nun das üppige Gedeihen solcher mit Ammoniakverbindungen ernährter Pflanzen betrifft, so scheint es hiermit nicht ganz so wohl zu stehen ***), als mit dem Fortkommen von Pflanzen, die ihren Stickstoff lediglich in Form von salpetersauren Salzen empfangen. Wir werden dieses Verhalten vielleicht später zu weiteren Schlüssen benutzen.

Ebenso wie die genannten Versuche beweist ein Versuch von Sachs, auf den wir auch noch in einer andern Richtung einen hohen Werth legen müssen, die Fähigkeit gewisser Pflanzen aus der Reihe der höhern chlorophyllhaltigen, Ammoniakverbindungen direkt für sich zu verwerthen; ich meine den Versuch über die Aufnahme von Ammoniakverbindungen in Gasform durch die oberirdischen Organe der Pflanze.

Sachs †) hat, angeregt durch die (in der letzten Vorlesung schon bei den Versuchen von Lawes, Gilbert und Pugh erwähnten) eigenthümliche Stellung des Klees, der Erbsen und anderer Leguminosen in der Fruchtfolge, welche auf eine ganz besondere Art der Stickstoffassimilation bei diesen Pflanzen schliessen liess, einen Versuch mit einer dahin gehörigen Pflanze, einer Schminkbohne ††) unternommen, der entscheiden sollte, ob in der Luft vorhandenes gasförmiges kohlensaures Ammoniak (denn in dieser Form können sich sehr kleine Mengen von gasförmigem Ammoniak allein in der atmosphärischen Luft befinden) von den Blättern dieser Pflanze aufgenommen und als Nährstoff verwendet werde. —

Der Versuch wurde in der Weise angestellt, dass die oberen Pflanzentheile von den unteren durch die Platte eines Tischchens möglichst vollständig getrennt waren. Der Stengel der Pflanze war durch ein später wohlverstopftes Loch in der Mitte der Tischplatte hindurch geführt, während der Blumentopf, in dessen Erde die Pflanze wurzelte, unter dem Tischchen stand. Ueber die oberirdischen Pflanzentheile konnte so eine tubulirte Glocke gestülpt werden, die mit Gaszuleitungsröhren versehen war und eine reichliche Belichtung der Versuchspflanze zuliess.

In zwei solche Apparate wurde nun je eine Keimpflanze gebracht und über drei Wochen in der Weise behandelt, dass die eine ausser gewöhnlicher Luft nur etwas Kohlensäure, die andere Kohlensäure und soviel Ammoniak, dass ein rothes feuchtes Lakmuspapier beim längeren Aufblasen der Luft eben gebläut ward, durch die Zuleitungsröhren erhielt. Alsdann wurde der Versuch unterbrochen und die Pflanzen,

---

*) Landw. Versuchsst. 1867. p. 167.

**) Ebenda p. 157.

***) Ebenda: Birner und Lucanus. 1866. p. 148.

†) Chem. Ackersmann. 1860. p 159. Der betreffende Versuch wurde — Dies sind wir schuldig zu bemerken — in Tharand auf Stöckhardt's Anregung von Peters begonnen und von Sachs lediglich fortgeführt und vollendet.

††) Als auffallend muss es erscheinen, dass Sachs in seinen beiden neuen ausführlichen Werken dieses Versuches und der daraus zu ziehenden Folgerungen mit keinem Worte erwähnt. Vergl. dessen Handb. d. Physiol. d. Pfl. p. 133—141 u. Lehrbuch d. Botanik p. 534.

von denen sich die in ammoniakalischer Luft gewachsene schon für das blosse Auge als kräftiger erwies, einer Analyse unterworfen. Diese letztere ergab folgende Zahlen:

	Trockenmasse.	Stickstoffgehalt.
Bohne in ammoniakfreier Luft	4,140 Gr.	0,106 Gr.
Bohne in ammoniakhaltiger Luft	6,740 „	0,208 „

Die letztere Pflanze zeigte also nicht nur einen Stickstoffgehalt, der den der in ammoniakfreier Luft erwachsenen Pflanze um beinahe das Doppelte überstieg, sondern hatte auch die Fähigkeit, einige Gramme Trockensubstanz mehr zu produciren, durch die reichere Stickstoffernährung erhalten.

Dieser Versuch zeigt ebenso wie der erwähnte Ville'sche unzweideutig an, dass *Ammoniakverbindungen ebenso wie salpetersaure Salze die höheren chlorophyllhaltigen Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen vermögen,* ohne dass wir hier schon aus der constatirten eigenthümlichen Art der Ammoniakaufnahme bei gewissen Pflanzen weitere Schlüsse ziehen. Ganz Dasselbe (obwohl nicht mit der gleichen Unzweideutigkeit) ergeben eine Reihe von andern Beobachtungen *), auf die wir nicht weiter einzugehen beabsichtigen.

So sind wir auf verschiedenem Wege zu dem gleichlautenden Schlusse gelangt, *dass das Ammoniak ebenso wie die Salpetersäure ein Nahrungsmittel der von uns besprochenen Pflanzen ist,* und es bleibt zunächst nur noch über die Form dieser Aufnahme Einiges zu sagen.

Verschiedene Vegetationsversuche mit Ammoniaksalzen, z. B. die erwähnten von Ville beweisen, dass das Chlorammonium, das schwefelsaure, salpetersaure und phosphorsaure Ammoniak ungefähr in gleichem Masse befähigt sind, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen; — und Dies entspricht Dem, was wir in der heutigen Vorlesung ganz allgemein für die Art der Stoffaufnahme ausgesprochen haben, — dass dagegen das kohlensaure Ammoniak auch in sehr verdünnten Lösungen von der Pflanzenwurzel nicht ertragen wird, da sich hier die alkalischen Eigenschaften des genannten Salzes schädigend geltend machen. — Von den oberirdischen Pflanzentheilen wird dagegen das gleiche Salz in Gasform, aber freilich nur in sehr grosser Verdünnung vortrefflich ertragen, wahrscheinlich weil hier eine Abstumpfung der alkalischen Reaktion durch vorhandene Pflanzensäuren genügend rasch erfolgen kann. Es ist dies ein Verhalten, das wohl zu beachten ist.

Es bleibt uns nun noch zu untersuchen übrig, ob und unter welchen Umständen

---

*) So untersuchte Hosäus (Zeitschrift für deutsche Landwirthe 1864 p. 337—347, 1865 p. 97—108 u. 1866 p. 5—13) die verschiedenen Organe einer grossen Anzahl von Pflanzen auf ihren Gehalt an Salpetersäure und Ammoniak und gibt an, Ammoniak zu jeder Zeit in Wurzel, Stengel und Blättern vorgefunden zu haben, und in den allermeisten Fällen auch Salpetersäure. Aus diesen Versuchsresultaten zieht derselbe den Schluss, dass auch das Ammoniak ein Nahrungsmittel der Pflanze sei; denn man könne unmöglich annehmen, dass dieses vorgefundene Ammoniak in Form von Salpetersäure aufgenommen und zurückverwandelt worden sei. So unzulässig nun auch diese Schlussfolgerung an sich erscheint, so können die Hosäus'schen Versuchsresultate, zusammengehalten mit den Ergebnissen der eben besprochenen Kulturversuche, mit denen sie wohl in Einklang zu bringen sind, vielleicht zur Begründung der gleichen Anschauung benutzt werden, namentlich wenn man auf die Vertheilung des Ammoniaks in den verschiedenen Pflanzentheilen Rücksicht nimmt.

stickstoffhaltige organische Stoffe von den Pflanzen aufgenommen und verwerthet werden können?

Als man seiner Zeit erkannt hatte, dass die höhere chlorophyllgrüne Pflanze *wesentlich* von anorganischen Stoffen sich ernährt, da war man geneigt anzunehmen, dass eine solche Pflanze überhaupt und unter keinerlei Umständen organische Substanzen in sich aufzunehmen und zu verarbeiten befähigt sei. Namentlich war es Liebig wiederum, der auch hier, ohne weitere experimentelle Beweise, zu einer solchen Annahme hindrängte, für die nichts sprach, als deren Einfachheit und Bequemlichkeit. Man war auf diese Weise zu einem wahren Dogma gelangt, das nicht blos strenge verbot, an die Aufnahme von sogenannten Humusstoffen — ein Thema, auf das wir schon in einer früheren Vorlesung *) näher eingegangen sind — zu glauben, sondern auch mit vieler Consequenz den Gedanken an eine Assimilation stickstoffhaltiger organischer Stoffe verbannte. Nun scheint aber in der Welt nicht Alles so systematisch geordnet zu sein, wie Dies der menschliche Geist gerne annehmen möchte (oder das System der Welt, wenn es gestattet ist, von einem solchen zu sprechen, deckt sich nur unvollständig mit dem System des menschlichen Geistes) — jedenfalls zeigte auch das Experiment in diesem Falle, dass die gemachte Folgerung dem thatsächlichen Sachverhalte nicht entsprach.

Es sind von mehreren Forschern Versuche in der bezeichneten Richtung gemacht worden. Namentlich hat man mit stickstoffhaltigen organischen Stoffen von einer Zusammensetzung, durch welche sich dieselben den anorganischen Stoffen nähern, Vegetationsversuche angestellt. Cameron **) und Hampe ***) haben gezeigt, dass *Harnstoff direkt*, ohne vorher sich zersetzt zu haben, von Gersten- und Mais-Pflanzen aufgenommen und zur Vermehrung der stickstoffhaltigen organischen Pflanzensubstanz benutzt wird, — in Versuchen, wo die Pflanzen kein anderes stickstoffhaltiges Nahrungsmittel erhielten und dennoch sehr üppig gediehen. Weniger evident gelang in solchen Versuchen der gleiche Beweis für den anorganischen Stoffen etwas ferner stehende stickstoffhaltige Körper, wie *Harnsäure*, *Hippursäure* und *Guanin*. Knop und W. Wolf †) haben in gleicher Weise gezeigt, dass *Leucin, Tyrosin* und *Glycocoll* von Roggen-Pflanzen aufgenommen und verarbeitet werden können. Dagegen haben es Versuche der beiden letzteren Forscher wahrscheinlich gemacht, dass *Pflanzenalkaloïde*, wie *Caffeïn, Cinchonin, Chinin, Morphin* ††) nicht befähigt sind, die Versuchspflanzen mit Stickstoff zu versorgen †††).

Man kann also nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen etwa sagen, dass unter den *stickstoffhaltigen organischen Substanzen ausschliesslich diejenigen be-*

*) Die fünfte p. 72.

**) Landw. Versuchsstationen. B. VIII. p. 235. Landw. Centralblatt. 1858. I. p. 9.

***) Landw. Versuchsstationen. B. VII. p. 308 u. VIII. p. 225 u. IX. p. 49.

†) Chem. Centralblatt. 1866. p. 774 u. W. Wolf: Landw. Versuchsstationen. B. X. pag. 13.

††) In gleicher Weise unfähig die Versuchspflanzen zu ernähren zeigten sich nitrobenzoësaures Kali, pikrinsaures, amidobenzoësaures Kali, Thiosinamin, Ferrocyankalium und Ferridcyankalium. Landw. Versuchsst. 1865 p. 463 u. Knop: Lehrbuch. p. 618.

†††) Vergl. auch Beyer: Landw. Versuchsst. 1867. p. 480; ferner die neue Arbeit von P. Wagner: Henneb. Journ. 1869. p. 82 mit ausführlichen Litteraturangaben auf p. 112.

fähigt sind, die höhere grüne Pflanze mit Stickstoff zu versorgen, welche (wie die Endprodukte des thierischen Stoffwechsels) *durch relativen Reichthum an Sauerstoff und ihre chemische Constitution den anorganischen Stoffen nahe stehen.* Vergleicht man die Formeln derjenigen Stoffe, mit denen es bisher mehr oder weniger gut gelang, Ammoniak oder Salpetersäure bei der Pflanzenernährung zu substituiren, mit den Formeln derjenigen, die in dieser Richtung ein negatives Resultat ergeben haben:

Harnstoff	$= CH_4N_2O$	Caffeïn	$= C_8H_{10}N_4O_2$
Harnsäure	$= C_5H_4N_4O_3$	Cinchonin	$= C_{20}H_{24}N_2O$
Leucin	$= C_6H_{13}NO_2$	Chinin	$= C_{20}H_{24}N_2O_2$
Tyrosin	$= C_9H_{11}NO_3$	Morphin	$= C_{17}H_{19}NO_3$
Hippursäure	$= C_9H_9NO_3$		
Glycocoll	$= C_2H_5NO_2$		

so ersieht man aus dem Rest, der bleibt, wenn man den Stickstoff in Form von Ammoniak austreten lässt (wozu bei Harnstoff, Harnsäure und Caffeïn mehrere Atome Wasser zu Hülfe genommen werden müssen)

für Harnstoff	CO_2	für Caffeïn	C_8O_8
„ Harnsäure	C_5O_7	„ Cinchonin	$C_{20}H_{18}O$
„ Leucin	$C_6H_{10}O_2$	„ Chinin	$C_{20}H_{18}O_2$
„ Tyrosin	$C_9H_8O_3$	„ Morphin	$C_{17}H_{16}O_3$
„ Hippursäure	$C_9H_6O_3$		
„ Glycocoll	$C_2H_2O_2$		

noch deutlicher wie aus den Formeln selbst, dass man es im Allgemeinen in den Stoffen, die von den Pflanzen verarbeitet werden konnten, mit *weit oxydirteren* Substanzen zu thun hat, als jene Pflanzenalkaloïde sind. Namentlich ist Dies leicht für Harnstoff ersichtlich, wo nach Abzug des Ammoniaks ein völlig verbrannter Körper, die Kohlensäure restirt. Dagegen ist der Rest des Caffeïn ein sauerstoffreicherer Körper als der des Leucin, Tyrosin und der Hippursäure, wie man leicht erkennt.

Zum Theil muss also die hervorragende Fähigkeit der einen Körperklasse, die Pflanze mit Stickstoff zu versorgen, in der *Constitution der chemischen Verbindungen* gesucht werden und es kann in der That behauptet werden, dass beide Gruppen sich in ihrer Constitution vorzugsweise dadurch unterscheiden, dass die Körper der einen, mit denen die erwähnten Kulturversuche glückten, bei Behandlung mit energischen Reagentien ziemlich leicht Ammoniak *) auszugeben pflegen,

*) Ueber die Beziehung der Constitution stickstoffhaltiger organischer Körper zur leichten Zersetzbarkeit derselben unter Abgabe von Ammoniak lässt sich sagen, dass bei allen den Körpern, wo die Gruppe NH_2 an ein Kohlenstoffatom gebunden gedacht werden muss, das andererseits an Sauerstoff gebunden ist wie z. B. beim Harnstoff $\begin{cases} NH_2 \\ CO \\ NH_2 \end{cases}$ leicht eine Umsetzung eintritt, bei der Ammoniak frei wird, während Dies bei den Körpern, wo die Gruppe NH_2 an ein Kohlenstoffatom, das zu einer sauerstofffreien Gruppe gehört, gebunden ist, weniger der Fall ist. Es ist jedoch fraglich, ob vorstehende bekannte Beziehung für unsern vorliegenden Fall benutzt werden kann. Namentlich ist die Constitution der betreffenden Alkaloïde noch nicht genügend studirt, um hierüber urtheilen zu können.

was von jenen Verbindungen der andern Gruppe nicht ausgesagt werden kann. Es muss indessen noch dahin gestellt bleiben, bis eine grössere Anzahl von Versuchen in dieser Richtung angestellt ist, ob diese Unterscheidung eine stichhaltige ist, und ich bitte daher, diese Andeutungen mit Vorsicht aufzunehmen und nur als einen Gesichtspunkt zu betrachten, von dem aus sich die Resultate der wenigen Vegetationsversuche, die bisher mit organischen stickstoffhaltigen Substanzen angestellt worden sind, etwas leichter überblicken lassen.

Auch wieder an dieser Stelle möchte ich auf das Wenige aufmerksam machen, was in Bezug auf die Ernährung anderer Organismen und besonders der niedern chlorophylllosen Pflanzen durch stickstoffhaltige organische Stoffe bekannt ist. Während bekanntlich die höheren Thiere und wahrscheinlich bis herab zu den allerniedersten Thierformen ihren Stickstoffgehalt in Gestalt von ganz gewissen organischen Substanzen, den sogenannten Proteïnsubstanzen *aufnehmen müssen,* und also in diesem Falle die genannten Substanzen nicht durch beliebige andere stickstoffhaltige organische Stoffe und noch viel weniger durch anorganische vertreten werden können, scheint bei den niedrigen chlorophylllosen Pflanzen die grösste Mannigfaltigkeit in Bezug auf diesen Punkt zu herrschen. Fruktificirende Schimmelpilze, die, wie wir eben gelernt haben, Ammoniak und Salpetersäure als Quelle ihres Stickstoffgehalts wählen können, scheinen eben so gut fortzukommen auf einem Nährboden, der den Stickstoff in Form einer beliebigen organischen Substanz enthält; — wenigstens sind hiefür noch keinerlei Einschränkungen bekannt. Abweichend verhält sich jedoch hier wieder der gewöhnliche Hefepilz, für dessen Ernährung ausgedehntere, wenn auch noch unvollständige Studien *) vorliegen. Derselbe entnimmt seinen Stickstoff dem Ammoniak und denjenigen organischen Verbindungen, die dem Zerfall in Ammoniak etc. nicht allzu ferne stehen, welche, wie wir eben gesehen haben, auch die höhere chlorophyllgrüne zu ernähren vermögen. Nachgewiesen, durch Kulturversuche mit dem Bier-Hefepilz, ist dies für *Harnstoff, Guanin, Allantoin, Asparagin* und *Harnsäure* **). Andere stickstoffhaltige organische Substanzen und besonders diejenigen, die der höheren Thierwelt ausschliesslich zur Nahrung dienen, sind dagegen mehr oder weniger unfähig, ***) den Bierhefepilz zu ernähren, und bei Weitem am üppigsten wird derselbe, wie ich schon erwähnt habe, fortgebracht durch eine noch sehr wenig gekannte Gruppe von stickstoffhaltigen organischen Stoffen (von der das Pepsin ein Repräsentant ist) †).

Diese wenigen Andeutungen werden genügen, um zu zeigen, welch' grosse Mannigfaltigkeit bei den verschiedenen Organismengruppen in Bezug auf die Stickstoffaufnahme besteht, und davon zu überzeugen, dass noch viele experimentelle Studien erforderlich sind, bis man einmal Gesetzmässigkeiten in diesen Ernährungsverhältnissen zu erkennen im Stande sein wird. ††)

*) Meine schon erwähnte Schrift, Untersuchungen über die alkoh. Gährung etc. 1869.

**) Siehe auch Bialoblocki u. Rösler: Annal. d. Oenologie. I. p. 55.

***) Ebenso unfähig auch das Caffeïn.

†) Nachgewiesen bis jetzt allein für das Pepsin.

††) Ein weiterer sehr bedeutender Unterschied besteht in Betreff der Stickstoffernährung der verschiedenen Organismen darin, dass einige wie die chlorophyllhaltigen Pflanzen nur

Für die höhere chlorophyllgrüne Pflanze jedoch, deren Studium uns zunächst obliegt, sind wir — dank den vielen und sorgfältigen Vegetationsversuchen — zu einem genügenden Ueberblick der Stickstoffernährung gelangt, und wir können in Bezug auf dieselbe aussprechen, *dass nicht blos die anorganischen Substanzen Salpetersäure und Ammoniak* *) als stickstoffhaltige Nahrungsmittel dienen können, *sondern auch eine Reihe von organischen Substanzen* und dass für fast alle diese Stoffe die Möglichkeit einer *ausschliesslichen Stickstoffernährung* durch dieselben, (durch das vollkommene Gedeihen der mit Ausschluss aller sonstigen Stickstoffverbindungen ernährten Pflanzen) festgestellt ist.

Eine ganz andere Frage, als die bis dahin behandelte, ist die nach der Wichtigkeit dieser einzelnen, theoretisch theilweise gleichwerthigen, stickstoffhaltigen Nahrungsstoffe in der Natur, — die Frage: welche Nährstoffe findet die Pflanze draussen auf dem Ackerlande, resp. der Atmosphäre vor, um daraus ihre stickstoffhaltigen Bestandtheile zu bilden? Für die realen Verhältnisse des Pflanzenwachsthums muss (ohne dass wir hier schon näher auf die Zusammensetzung von den die Pflanzen umgebenden Medien eingehen wollen) hervorgehoben werden, dass die Pflanzen durch die Wurzeln unter gewöhnlichen Verhältnissen vorzugsweise *Salpetersäure-Verbindungen* und nur in sehr zurücktretender Menge Ammoniaksalze und von jenen stickstoffhaltigen organischen Stoffen aufnehmen kann. Dieses Verhalten wahrscheinlich gemacht zu haben, ist wesentlich W. Knop's **) Verdienst.

Derselbe hat darauf hingedeutet, dass praktisch die genannten stickstoffhaltigen organischen Verbindungen, welche die Pflanze zu ernähren vermögen, von geringer Bedeutung sind, da dieselben, wenn sie auch theilweise durch Düngung mit thierischen Excrementen in den Boden gelangen sollten, doch in dem Boden selbst rasch der Fäulniss und Verwesung, dem Uebergang in Ammoniak und später in Salpetersäure erliegen müssten. Gerade desshalb war es ja experimentell mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, Ernährungsversuche mit den genannten Substanzen anzustellen, da dieselben unter gewöhnlichen Bedingungen, gleichsam unter den Fingern des Experimentators, Zersetzungen erleiden, die zu vermeiden eine nothwendige Aufgabe der Versuchsanstellung war.

Bei Weitem das wichtigere Verdienst in Bezug auf diese Dinge von Knop aber war, etwas Aehnliches für die Verhältnisse des Ackerfelds auch für das *Ammoniak* wahrscheinlich gemacht zu haben. Während die ältere Anschauung gerade die Ernährung der Pflanzen draussen in der Natur auf Kosten von Ammoniak vor sich gehen liess, zeigte dieser, wie in der Ackererde, in weitaus den meisten Fällen die

einer Stickstoffaufnahme, andere aber, wie das höhere Thier, des Stickstoffumsatzes bedürfen, — ein sehr wichtiger Punkt, der hier nur angedeutet werden kann.

*) Nach gewissen Versuchen, die Hosäus ebenfalls an dem vorhin angegebenen Orte veröffentlicht hat, scheint es erwiesen, dass gewisse höhere chlorophyllhaltige Pflanzen (die Zwiebel) unfähig sind, Salpetersäure aufzunehmen, sondern sich auf Kosten von Ammoniak ernähren müssen. Sollte sich diese Beobachtung, die im Verhältniss zu ihrer Wichtigkeit wohl noch nicht mit genügender Sicherheit festgestellt worden ist, bestätigen, so wären Differenzen in der Stickstoffernährung noch auf einem engern Gebiet constatirt.

**) Vergl. dessen Lehrbuch: Der Kreislauf des Stoffs. I. p. 126.

Bedingungen vorhanden sind, um die Ammoniakverbindungen, die durch direkte Düngung dem Boden einverleibt worden waren, oder aus der Zersetzung beliebiger organischer stickstoffhaltiger Substanzen Entstehung genommen hatten, mehr oder weniger vollständig in Salpetersäure-Verbindungen überzuführen. Derselbe wies unter Anderem nach, dass in der Ackererde unter gewöhnlichen Verhältnissen lange nicht diejenigen Mengen von Ammoniak vorhanden sind, wie uns die älteren Analysen von Brustlein, Wolff, R. Hoffmann und vielen Andern, die nach unvollkommenen Methoden angestellt worden waren, hatten glauben machen wollen. Diese letzteren hatten $^1/_2$ bis 2 Zehntausendstel Ammoniak in den Ackererden, die sie der Untersuchung unterwarfen, gefunden, während Knop*) in Gemeinschaft mit W. Wolf zeigte, dass nur *Milliontel*, höchstens ein *Hunderttausendstel Ammoniak* darin anzunehmen sei**). In gleicher Weise ward durch diese Untersuchungen nachgewiesen, dass Ammoniak überhaupt nur in den oberen Bodenschichten gefunden werden kann, dass 6 Fuss unter der Oberfläche im Lehmboden sich kein Ammoniak mehr befindet. So wurden auch in tiefen Feldbrunnen lediglich salpetersaure Salze, keine Ammoniakverbindungen angetroffen, so dass naturgemäss die Vorstellung erwächst, dass das Ammoniak im Boden in den meisten Fällen sehr rasch in Salpetersäure übergeführt wird und diese erst den Pflanzen zu Gute kommt.

Es ist durch diese Untersuchungen in der That sehr wahrscheinlich gemacht, dass, obwohl auch Ammoniaksalze und diesen nahestehende Verbindungen als stickstoffhaltige Nahrungsmittel der höhern Pflanzenwelt dienen können, doch die salpetersauren Salze das tägliche Brod dieser Organismenwelt sind — eine Thatsache, der eine gewisse praktische Bedeutung zukommt.

Nachdem wir so die stickstoffhaltigen Nahrungsmittel der Pflanze kennen gelernt haben, drängt sich zunächst die Frage nach der Verbreitung dieser Nährstoffe in der Natur, nach den Bedingungen ihres Entstehens und Vergehens an uns heran; und wir können auf dieselbe schon jetzt etwas näher eingehen, ohne noch die näheren Bedingungen von deren Aufnahme ausführlich betrachtet zu haben.

Wir fassen für diesen Zweck passend die genannten verschiedenen stickstoffhaltigen Nährstoffe zusammen unter dem Begriff „des gebundenen Stickstoffs" gegenüber dem freien unverbundenen Stickstoff, der für die Pflanzen an sich keinerlei Bedeutung hat. Es ist, um diesen Sprachgebrauch zu rechtfertigen, unter Anderem hervorzuheben, dass es verhältnissmässig schwierig ist, freien Stickstoff in irgend eine Form des gebundenen (in eine Verbindung), und beinahe eben so schwierig, gebundenen Stickstoff in freien Stickstoff überzuführen. Die einmal vorhandene Stickstoff-

*) Vergl. dessen Lehrbuch. I. p. 123 u. Landw. Versuchsst. B. III. p. 109 u. 207, B. IV. p. 67.

**) Man hatte sich früher zur Bestimmung des Ammoniaks der ätzenden Alkalien oder der alkalischen Erden bedient, welche Reagenzien (mit Ausnahme der Magnesia) auch aus stickstoffhaltigen organischen Substanzen, deren es eine sehr grosse Menge in jeder humosen Ackererde gibt, Ammoniak zu entwickeln vermögen (vergl. Chem. Centralblatt 1868. p. 376), während Knop auch für diese Bestimmungen seine vortreffliche Methode der Ammoniakbestimmung mittelst des Azotometers (siehe über diese: Chem. Centralblatt. 1860. p. 244) in Anwendung brachte.

verbindung hat bei chemischen Metamorphosen die Neigung, in eine andere Stickstoffverbindung sich zu verwandeln, während der freie Stickstoff nur äusserst selten bei chemischen Actionen engagirt wird. — Wir haben erst vorhin zu erwähnen gehabt, dass stickstoffhaltige organische Stoffe der verschiedensten Art bei chemischen Reaktionen leicht Ammoniak ausgeben und dass dieses — sofern Gelegenheit zur Oxydation sich bietet — leicht in Salpetersäure, nicht etwa in freien Stickstoff, obgleich dieser (unter gleichzeitiger Bildung von Wasser) leichter bei der Oxydation entstehen zu müssen scheint, übergeht, und dies zeigt also, wie der einmal gebundene Stickstoff gerne die gebundene Form beibehält. *)

Die hiermit geschilderten Verhältnisse zeigen, dass es erlaubt und zweckdienlich sein muss, geradezu von gebundenem Stickstoff gegenüber dem freien zu sprechen. Der gebundene Stickstoff vermag die Pflanzen direkt oder durch seine Zersetzungsprodukte zu ernähren, der freie vermag dieses nicht, und es ist somit für uns von dem höchsten Interesse, zu erfahren, *ob die Menge des in der Welt vorhandenen gebundenen Stickstoffs eine ein für allemal abgegrenzte ist, oder ob es in der Natur wirksame Vorgänge gibt, die freien Stickstoff in gebundenen, gebundenen in freien zu verwandeln* bestrebt sind. — Von dem Ausgang dieser Betrachtung wird es wesentlich abhängig sein, ob wir in dem freien Stickstoff der Atmosphäre ein für die Pflanzenwelt ganz und gar neutrales Medium zu erkennen haben werden, oder ob derselbe einen unerschöpflichen Vorrath von *indirekt* auf das organische Leben einwirkendem Stickstoff darstellt.

Wir werden uns für heute damit begnügen, alle die uns bekannten Vorgänge, die einen solchen Uebergang (in dem einen oder dem andern Sinn) zu bewirken vermögen, in's Auge zu fassen, um dann in der nächsten Vorlesung die möglichen Schlüsse aus dieser Untersuchung betreffs der Abhängigkeit der Pflanzenwelt von dergleichen Vorgängen zu ziehen.

Es muss hier vor allen Dingen nochmals deutlicher darauf hingewiesen werden, dass das Entstehen und Vergehen der Organismenwelt — soweit unsere Untersuchungen reichen — Nichts an dem Verhältniss des gebundenen Stickstoffs zum ungebundenen zu verändern vermag. Alle auf ihre Ernährungsvorgänge aufmerksam geprüften Pflanzen und Thiere unterhalten nur einen Stoffwechsel von gebundenem Stickstoff, sie sind allerdings im Stande, die chemische Form dieses gebundenen Stickstoffs in mannigfaltiger Weise, niemals aber deren einmal vorhandene Menge irgendwie abzuändern. **) — Ein Theil der hierhergehörigen Vorgänge hat

---

*) Dies Verhalten kann jedenfalls leicht auf die Constitutionsverhältnisse der Stickstoffverbindungen zurückgeführt werden und ist wohl allen drei- und mehratomigen Elementen eigenthümlich.

**) Es gibt zwar zerstreute Beobachtungen oder besser gesagt: Behauptungen, die für eine Assimilation des freien Stickstoffs durch Organismen und für eine Ausgabe von freiem Stickstoff durch solche sprechen — welche beiden Vorgänge ja eine solche Verwandlung darstellen würden —; aber dieselben verdienen, bis eine strenge Beweisführung geliefert ist, keinerlei Beachtung. Vergl. Hallier: Gährungserscheinungen 1867 p. 39.

Am Wahrscheinlichsten ist noch die Ausgabe von freiem Stickstoff bei niedrigen Pilzen.

bereits eine kurze Erwähnung gefunden; es war natürlich bei den experimentellen Arbeiten über Assimilation des freien Stickstoffs durchaus unerlässlich, die Möglichkeit derartiger Uebergänge in's Auge zu fassen, da, dieselben zu vermeiden, eine der Aufgaben der Versuchsanstellung war.

Was zunächst die *Umwandlung von freiem Stickstoff in gebundenen* betrifft, so haben wir schon (bei der genannten Gelegenheit *) der Oxydation des Stickstoffs zu Salpetersäure bei Anwesenheit von alkalischen Substanzen durch ozonisirten oder nicht ozonisirten Sauerstoff Erwähnung gethan. Wir haben damals gesehen, dass von einer Seite Salpetersäurebildung in erdartigen alkalischen Gemengen ohne gleichzeitige Anwesenheit von verwesenden stickstoffhaltigen organischen Substanzen beobachtet worden ist, die daher auf den freien Stickstoff der Luft zurückgeführt werden musste. Andere dagegen (Lawes, Gilbert und Pugh) konnten diesen Uebergang selbst durch stark ozonisirte Luft nicht herbeiführen, und so muss die mitgetheilte Thatsache einstweilen zweifelhaft bleiben.

Ein sicher erwiesener Uebergang ist aber folgender: Schon Cavendish **) hatte gezeigt, dass der elektrische Funke im Stande ist, den Stickstoff der atmosphärischen Luft auf Kosten des in derselben enthaltenen Sauerstoffs zu oxydiren, ***) und so Salpetersäure zu erzeugen †) ††). Da wir nun Alle wissen, dass der Blitz Nichts Anderes ist, als ein sehr grosser und mächtiger elektrischer Funke, so werden wir auch den Gewittern die Fähigkeit zuschreiben müssen, den freien Stickstoff der Atmosphäre mit dem Sauerstoff, mit dem er in der atmosphärischen Luft als unverbundenes Gasgemenge vorhanden ist, chemisch zu verbinden und so einen Theil des freien, für die Pflanzenwelt bis dahin indifferenten Stickstoffs in gebundenen zu verwandeln. Wir werden sehr bald sehen, dass man thatsächlich im Stande ist, die Spuren dieses Vorgangs in den Meteorwässern nachzuweisen.

Neben diesen (theilweise sehr problematischen) Oxydationsvorgängen, die der ungebundene Stickstoff in der Natur erleidet, haben wir die andern Arten der Bindung desselben zu unterscheiden, zunächst die Verbindung, welche derselbe nach Schönbein's Versuchen mit dem gewöhnlichen Wasser einzugehen befähigt ist. Dieser Forscher hat in einer Reihe von schönen Versuchen †††) den Nachweis geliefert, dass beim Verdampfen von Wasser bei gewissen Temperaturen ansehnliche Mengen von salpetrigsaurem Ammoniak entstehen, welcher Vorgang nur auf Kosten von freiem Stickstoff nach der Gleichung:

---

*) Vergl. oben p. 159 u. 162.

**) Kopp: Geschichte d. Chemie. III. p. 277.

***) Eine Thatsache, die von Schönbein so gedeutet wurde, dass der elektrische Funke nur den Sauerstoff ozonisire und das Ozon dann erst den Stickstoff oxydire.

†) Auf die Entstehung von Salpetersäure beim Verpuffen eines stickstoffhaltigen Knallgasgemisches hat auch Bunsen aufmerksam gemacht; vergl. dessen Gasometr. Methoden p. 63 u. f.

††) Ob Ozon, das sonst auf irgend eine Weise (durch ätherische Oele etc.) Entstehung nimmt, unter den gewöhnlichen Umständen Salpetersäurebildung veranlassen kann, muss auch noch dahingestellt bleiben.

†††) Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 124. p. 1—13.

$$2N + 2H_2O = NH_4NO_2$$

von Statten gehen kann. Schönbein hat dann weiter gezeigt, dass bei Verbrennung*) von Phosphor in feuchter Luft und ebenso bei der Verbrennung von vielen andern Körpern, z. B. von Fetten, Leuchtgas, in gleicher Weise geringe Mengen von salpetrigsaurem Ammoniak gebildet werden, welche Erscheinung er auch in diesem Falle der Einwirkung erhitzten Wasserdampfes auf die atmosphärische Luft zuschreibt.

Auch bei Verdunstung des Wassers bei gewöhnlicher Temperatur soll nach dem genannten Forscher salpetrigsaures Ammoniak entstehen, und z. B. ein reiner befeuchteter Leinwandlappen, nach dem Abtrocknen an der Luft, die charakteristische Salpetrigsäure-Reaktion (Blaufärbung von Jodkalium-Kleister nach dem Ansäuren mit einem Tropfen Schwefelsäure) geben, so dass vielleicht die Verdunstungserscheinungen der Pflanzen selbst eine Quelle für Entstehung von gebundenem Stickstoff abgeben könnten.

Schönbein sah auch zugleich die grosse Tragweite seiner Entdeckung und besonders deren Bedeutung für die Vegetation**) (vergl. a. a. O. p. 13) deutlich voraus; — indessen bleibt auch in den beschriebenen Erscheinungen noch Manches dunkel, und es muss zweifelhaft bleiben, *in welcher Verbreitung* und *mit welcher Intensität* die aufgefundenen Vorgänge in der Natur einen Platz finden. Es ist namentlich auch durch spätere Untersuchungen***) nachgewiesen worden, dass die salpetrige Säure und das Ammoniak bei derartigen Processen nicht etwa immer im Aequivalentverhältniss Entstehung nehmen, was nach der Schönbein'schen Theorie offenbar der Fall sein müsste, sondern unabhängig von einander in beliebigen andern Verhältnissen. — Dennoch können wir vielleicht aus der Zusammensetzung der atmosphärischen Niederschläge mit einiger Wahrscheinlichkeit schliessen, dass ganz regelmässig Processe in der Natur verlaufen, welche die Entstehung von salpetrigsaurem Ammoniak — oder, wenn man lieber will, von salpetriger Säure und Ammoniak — aus freiem Stickstoff veranlassen.

Alle übrigen Angaben über Bildung von gebundenem Stickstoff auf Kosten von freiem sind entweder völlig zweifelhafter Natur oder geradezu nachweisbar falsch.

Es ist hier einer ganz vereinzelt stehenden Angabe von Herrmann †) Erwähnung zu thun, nach welcher der freie Stickstoff beim Faulen des Holzes fixirt und in eine organische Verbindung, die Nitrolin genannt wird, übergeführt werden soll. Boussingault ist sogar selbst geneigt, hieraus weitgehende Schlüsse zu ziehen und um so mehr verdiente die unwahrscheinliche Angabe eine genaue experimentelle Prüfung. — Ein anderer Experimentator, Fr. Schulze sah übrigens freien Stick-

*) Schon de Saussure hatte in dem Wasser, das bei der Verpuffung von lufthaltigem Knallgas entstanden war, Ammoniak, salpetrige Säure neben Salpetersäure nachgewiesen.

**) Die salpetrige Säure, welche selbst nicht (?) als direktes Pflanzennährmittel angesehen werden darf, geht leicht durch Oxydation in Salpetersäure über and kann desshalb für unsere Zwecke als gleichwerthig mit dieser angesehen werden.

***) Vergl. besonders Zabelin: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 130. p. 54—95.

†) Boussingault: Die Landwirthschaft etc. 1845. II. p. 51.

stoff über Ackererde sich nicht vermindern (obgleich also in derselben faulende Holztheilchen und dergleichen vorhanden sein mussten), und auch desshalb muss die erstere Angabe als in hohem Grade zweifelhaft bezeichnet werden. *)

Als klar erkannte Vorgänge, die einen Uebergang von freiem Stickstoff in gebundenen darstellen, sind also in der Natur nur *die Salpetersäurebildung durch den Blitz* und die *Entstehung von salpetrigsaurem Ammoniak* bei einer Reihe von täglich sich ereignenden Phänomenen zu verzeichnen.

Durch die Kunst sind wir allerdings befähigt, den in Rede stehenden Uebergang auf noch ganz andere Arten herbeizuführen. Bekanntlich besteht in England seit vielen Jahren eine praktisch ganz rentable Methode der Blutlaugensalzfabrikation auf Kosten des freien Stickstoffs der Luft. Das Blutlaugensalz, welches eine Cyanverbindung ist, wird sonst im Allgemeinen aus Potasche, Eisen und einer organischen stickstoffhaltigen Substanz dargestellt, und dies ist z. B. noch die auf dem Continent allein gebräuchliche Darstellungsmethode.

Die Cyanverbindung stehen in genauer Wechselbeziehung zu den uns schon bekannteren Formen des gebundenen Stickstoffs, obwohl sie selbst nicht als Pflanzennahrungsmittel dienen können. Ammoniak kann durch Ueberleiten über glühende Kohlen in Cyan verwandelt werden. Die organischen Nitrile, welche Nichts weiter sind, als Ammoniakverbindungen, denen man Wasser entzogen hat, können gleichzeitig auch als Cyanverbindungen **) betrachtet werden. Das ameisensaure Ammoniak geht beim Erhitzen in Cyanwasserstoffsäure (Blausäure) über, und diese kann umgekehrt bei Behandlung mit starken Säuren und Basen unter Aufnahme von 2 Molekulen Wasser in ameisensaures Ammoniak übergehen etc.

Hält man diese vielfachen Beziehungen von Cyanverbindungen zu Ammoniak fest, so ist ersichtlich, dass jene erwähnte Darstellung einer Cyanverbindung aus dem

---

*) Eine Angabe Mulders, (wonach ein weiterer Uebergang entdeckt zu sein schien), die sich später als unrichtig erwiesen hat, verdient — wenn auch nicht im Text — einer kurzen Erwähnung. Dieselbe behauptet die Bildung von Ammoniak aus freiem Stickstoff und Wasserstoff im status nascens. So sollen z. B. feuchte, an der Luft liegende Eisenfeilspähne beim Rosten Wasser zersetzen und gleichzeitig Ammoniak bilden. Es wird auf diese Weise sogar der Ammoniakgehalt der Eisenerze erklärt, während doch beliebige andere Mineralien auch Spuren dieses Körpers enthalten.

Aehnliches soll dann beim Faulen der organischen Stoffe im Boden, wobei Wasserstoffentwickelung beobachtet werden konnte, stattfinden, und so eine weitere Quelle gebundenen Stickstoffs für die Pflanzen zur Verfügung stehen.

Es ist aber von Le Voir (Journ. f. pr. Ch. Bd. 84 p. 326) und Anderen gezeigt worden, dass die Mulder'sche Beobachtung unrichtig ist, dass nemlich das auftretende Ammoniak aus dem destillirten Wasser stammt und nur durch das Eisenoxyd aus diesem ausgetrieben wird, dass ausserdem das Eisen bei gewöhnlicher Temperatur gar nicht im Stande ist, das Wasser zu zersetzen, sondern sich nur auf Kosten des im Wasser enthaltenen Sauerstoffs oxydirt, so dass also nicht allein die Beobachtung unrichtig ist, sondern auch das gewählte Experiment gar nicht die Bedingungen repräsentirt, für die der Beweis geführt werden sollte. Vergl. über diesen Gegenstand Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc. 1862. I. p. 303 bis 314.

**) Gorup-Besanez: Org. Chemie 1862. p. 84 u. 468.

freien Stickstoff der Atmosphäre, die beim Ueberleiten von Stickstoff über glühende Kohlen, bei gleichzeitiger Anwesenheit eines stark alkalischen Stoffes, regelmässig erfolgt, eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs in dem erläuterten Sinne auf Kosten des unverbundenen bedeutet, *) und dass man im Stande wäre, nach derselben Methode auch stickstoffhaltige Pflanzennährstoffe aus dem unverbundenen Stickgas künstlich darzustellen.

Schliesslich verdient die künstliche Darstellung von Ammoniak auf Kosten des freien Stickstoffs Erwähnung. Dieselbe erfolgt nicht nur in äusserst geringem Masse in einem Gemisch von Wasserstoffgas und Stickstoff beim langandauernden Durchschlagen des elektrischen Funkens **), sondern, wie Fleck ***) nachgewiesen hat, beim Ueberleiten von Stickstoff, Wasserdämpfen und Kohlenoxydgas über gebrannten Kalk, wo das Wasser sich spaltet und nach folgender Gleichung:

$$2N + 3CO + 3H_2O = 2NH_3 + 3CO_2$$

den Sauerstoff zur Oxydation von Kohlenoxyd, den Wasserstoff zur Ammoniakbildung verwendet. Dies ist ein Vorgang, der allerdings noch nicht praktisch ausgebeutet werden konnte, gleichwohl aber unsere Beachtung im allerhöchsten Massstab verdient.

Dies sind ungefähr die bekannten Processe, welche eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs auf Kosten des ungebundenen veranlassen können. — Lassen wir uns denselben jene anderen gegenüberstellen, *die den Stickstoff wieder in Freiheit zu setzen vermögen.* Wir können in Bezug auf diesen Gegenstand ziemlich kurz sein.

Schon bei Besprechung der Lawes, Gilbert und Pugh'schen Versuche ist eine Quelle dieses Uebergangs zu Tage getreten. Es hat sich aus derselben ergeben, dass *faulende* oder *verwesende Substanzen* †) im Erdreich (und natürlich auch an irgend einem andern Orte) freien Stickstoff zu entwickeln vermögen neben Fäulnissprodukten, in denen die gebundene Form noch vertreten ist.

Wir brauchen nun die dort erwähnte Thatsache nur noch auf die *Verbrennungsprocesse* auszudehnen, um im Wesentlichen die Bedingungen des Uebergangs des Stickstoffs in den ungebundenen Zustand zu kennen. Bei der Verbrennung einer grossen Reihe von stickstoffhaltigen organischen Verbindungen tritt ein Theil des Stickstoffs frei aus, wenn nicht die Anwesenheit einer starkalkalischen Substanz zu der Entstehung von Ammoniak prädisponirt. Dies letztere Verhalten benutzen wir bei der Stickstoffbestimmung nach der Will-Varrentrapp'schen Methode, wo dann aller Stickstoff der organischen Substanz als Ammoniak austritt.

---

*) Auch in Hochöfen entstehen häufig grosse Mengen von Cyankalium auf Kosten des Stickstoffs der Gebläseluft und der im Eisenerze und Zuschlag enthaltenen alkalischen Substanzen.

**) Perrot: Jahresbericht der Chemie. 1859. p. 35.

***) Bolley: Handbuch der chem. Technologie. II. 2. p. 48.

†) Oben p. 162.

Ausser diesen Arten des Uebergangs gibt es noch einige in der Chemie bekannte Methoden *) (die aber für unsern Gegenstand kein erhebliches Interesse haben), durch die es gelingt, aus beinahe beliebigen stickstoffhaltigen Stoffen den Stickstoff unverbunden abzuscheiden.

Zwölfte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanze. — Die Stickstoffquellen für die Pflanzen in der Natur.

Nachdem wir in den beiden letzten Vorlesungen eine Vorstellung gewonnen haben von denjenigen stickstoffhaltigen Substanzen, aus welchen die höhere chlorophyllgrüne Pflanze ihren Bedarf an Stickstoff schöpft und zugleich einen Blick geworfen haben auf die Wechselbeziehungen dieser Substanzen zum freien Stickstoff, auf die Bedingungen zu deren Bildung und Zerstörung, sind wir heute im Stande, eine Betrachtung von grösserer Tragweite anzustellen, die Abhängigkeit der Pflanzenwelt (und somit der ganzen Organismenwelt) zu ermitteln von dem einmal bestehenden Vorrath an gebundenem Stickstoff und den möglichen Veränderungen dieses Vorraths. Dass eine solche Abhängigkeit bestehen muss, ist leicht ersichtlich aus dem wiederholt hervorgehobenen Satze, dass wahrscheinlich *alle Organismen,* und (sollte hier eine Einschränkung bestehen) jedenfalls im Wesentlichen alle Organismen, nur gebundenen Stickstoff assimiliren und nur gebundenen Stickstoff ausscheiden, *dass die Organismenwelt als solche keine Aenderung des einmal auf unserer Erde bestehenden Vorraths an gebundenem Stickstoff zu bewirken vermag.*

Dieser bestehende Vorrath und diejenigen am Schlusse der letzten Vorlesung *betrachteten Processe, die diesen Vorrath abzuändern bestrebt sind, bestimmen also unter gewissen Umständen die mögliche Ausdehnung der Organismenwelt* **), da deren Bedarf an Stickstoff durchaus nicht beliebig eingeschränkt werden kann, und bei nicht befriedigtem Bedarf an diesem Bestandtheil selbstredend die noch so üppige Fülle der übrigen Lebensbedingungen nicht einen etwaigen Mangel an dieser einen ausgleichen kann.

Dieser Hinweis wird mehr als genügen, um auf das Interesse aufmerksam zu machen, das die Grösse dieses Vorraths an gebundenem Stickstoff, dessen Entstehung und Abänderung im Lauf der Schöpfungsgeschichte und dann die hieraus abzuleitenden voraussichtlichen Vergrösserungen oder Verminderungen desselben in der

---

*) Z. B. die verschiedenen bei der Dumas'schen Stickstoffbestimmung vorkommenden Reaktionen; ferner der bei der Knop'schen Stickstoffbestimmung mit dem Azotometer benutzte Vorgang etc.

**) Es kann wohl keinem Zweifel unterworfen sein, dass auch praktisch der Mangel an Stickstoffnahrung es vorzüglich ist, der an vielen Orten und namentlich, wo die Kultur nicht andere Vegetationsbedingungen abschwächt, der Ausdehnung der Pflanzenwelt eine Grenze setzt. Vergl. über diesen Gegenstand die 27. Vorlesung.

Zukunft für uns hat. Es handelt sich mit anderen Worten darum, die frühere und gegenwärtige Wirkungsgrösse der von uns gekannten Processe, die jenen Vorrath zu vermehren oder zu vermindern vermögen, annähernd abzuschätzen.

Obwohl wir nun diese so zu präcisirende Aufgabe entfernt nicht zu lösen vermögen, da es uns an allen Massstäben der Schätzung der Wirksamkeit jener Processe durchaus gebricht, so verhilft doch eine in dieser Richtung angestellte Betrachtung zu manchen wichtigen Gesichtspunkten.

Wir sehen uns gleich von Anfang zu dem Zugeständnisse gezwungen, dass wir von der auf unserem Planeten vor dem Anfang des organischen Lebens *) (selbst wenn wir die sehr wahrscheinliche und fast ganz allgemein angenommene Hypothese des einst feurig flüssigen Zustandes desselben acceptiren) vorhandenen Menge von gebundenem Stickstoff wenig wissen. Es lässt sich von einem solchen Urzustande bei sehr hoher Temperatur nur mit voller Bestimmtheit behaupten, dass damals keine organischen stickstoffhaltigen Stoffe vorhanden sein konnten, ferner mit einiger Wahrscheinlichkeit aussagen, dass wegen des jedenfalls anzunehmenden Sauerstoffüberschusses wohl kein Ammoniak bestehen konnte; aber es steht kein Hinderniss im Wege, die Existenz von Salpetersäure in jenen frühen Perioden anzunehmen. Vielmehr macht die Möglichkeit elektrischer gewitterartiger Erscheinungen zu jener Zeit die schon frühe Anwesenheit von Salpetersäure einigermassen wahrscheinlich, ohne dass wir freilich im Stande wären, deren mögliche oder nothwendige Menge auch nur annähernd zu taxiren. Es muss überhaupt gesagt werden, dass die grosse Mannigfaltigkeit der möglichen Processe uns völlig verbietet, die damals herrschenden Verhältnisse zu übersehen und desswegen verdienen einzelne Vermuthungen, wie die gelegentlich von Wöhler und de Ville **) ausgesprochene von der Bindung des freien Stickstoffs durch Bor oder Silicium in solchen Perioden, womit nachher bei Berührung mit wässrigen alkalischen Substanzen oder auch nur mit wässriger Kohlensäure Gelegenheit zur Bildung von Ammoniak gegeben wäre, kaum eine ernstliche Erwägung.

Soviel können wir in allen Fällen als gewiss ansehen, dass beim Auftreten der Organismenwelt bereits eine gewisse Menge gebundenen Stickstoffs ***) vorhanden war und dass derselbe von dieser nicht vermehrt, wohl aber concentrirt werden konnte.

Nicht ganz so rathlos wie der eben erörterten Frage stehen wir jener andern gegenüber, ob seit dem Bestehen der Organismenwelt eine Vermehrung oder eine

*) Dass die Frage, ob zuerst Organismen oder Stickstoffverbindungen vorhanden gewesen seien, eine ähnliche ist, wie nach dem ursprünglichen Vorhandensein von Ei oder Huhn, wie Liebig (vergl.: Die Chemie 1862. I. p. 3) will, vermag ich nicht einzusehen.

**) Vergl. Jahresbericht der Chemie. 1857. p. 92; 1858. p. 790; 1859. p. 155.

***) Es ist hier an den Ammoniakgehalt vieler aus grosser Tiefe geholter Mineralien zu erinnern. Vergl. hierüber die Angaben von Boussingault, Berzelius und namentlich Braconnot bei Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc. 1862. I. p. 305 u. 308; ferner Liebig: Die organische Chemie in ihrer Anwendung etc. 1840. p. 102, wo von dem Ammoniakgehalt der aus den heissen Wasserdämpfen des Erdinnern gewonnenen Borsäure die Rede ist.

Verminderung des gebundenen Stickstoffs stattgefunden hat, und ob gegenwärtig in dem einen oder dem andern Sinn eine Tendenz zur Abänderung desselben bestehe. Wir können zwar, wie gesagt, weder die Wirksamkeit derjenigen Processe, die freien Stickstoff in eine gebundene Form überführen, noch jener andern Processe, die im umgekehrten Sinn wirken, auch nur annähernd gegen einander abschätzen. Dennoch sind wir im Stande, wenn wir nochmals jene vielen Processe Revue passiren lassen, eine gewisse gegenseitige Abhängigkeit derselben und der Organismenwelt von einander zu constatiren.

Wir sind früher zu dem Resultate gekommen, dass diejenigen Vorgänge, die eine Verminderung des einmal in gebundener Form vorhandenen Stickstoffs veranlassen, wesentlich in den Verbrennungs- und Verwesungsprocessen stickstoffhaltiger organischer Substanz bestehen. Wir werden also sagen können, dass der gebundene Stickstoff, der in die organische Substanz übergegangen ist, eine besondere Wahrscheinlichkeit bietet, in die unverbundene Form zurückzugelangen, und dass, da es eben *das Pflanzenleben* ist, welches jenen Uebergang des gebundenen Stickstoffs in die organische Substanz veranlasst, dieses *der Verminderung des gebundenen Stickstoffs einigen Vorschub leistet.* — Es wird nicht möglich sein, diesen Consequenzen zu entgehen. Es müsste denn gerade das in Folge der Verdunstung der Pflanzen nach der Schönbein'schen Ansicht entstehende salpetrigsaure Ammoniak ein Aequivalent für jene Verluste bieten, was jeder Wahrscheinlichkeit entbehrt.

Wir werden, wenn wir gleichzeitig die Bedingungen des entgegengesetzten Vorgangs berücksichtigen, zu folgender Anschauung mit einiger Wahrscheinlichkeit gedrängt. — Es entstehen ohne Beihülfe der Organismenwelt, namentlich durch elektrische Vorgänge, alljährlich gewisse neue Mengen von gebundenem Stickstoff in unorganischer Form. Dieser befördert aber, wenn die übrigen Bedingungen hiezu vorhanden sind, ein üppiges Gedeihen der Organismenwelt. Die letztere ändert an sich Nichts an der Menge des gebundenen Stickstoffs, vermag ihn nur unter gewissen Umständen in Form von organischen Substanzen zu concentriren, während er im andern Falle grossentheils von den Grundwässern mit fort und in's Weltmeer *) geführt worden wäre. Indirekt gibt aber die so gediehene Organismenwelt wieder Veranlassung zur Befreiung des Stickstoffs, da die verwesenden organischen Substanzen einen Theil des Stickstoffs in ungebundener Form ausgeben.

So scheint, wenn man diesen Consequenzen Gehör verleiht, die Organismenwelt als eine Art von Regulator (wenn auch natürlich kein vollkommner) für die übermässige Anhäufung des gebundenen Stickstoffs zu dienen, indem sie, selbst durch diese gefördert, indirekt dem umgekehrten Processe Vorschub leistet.

Diese Andeutungen werden voraussichtlich später, wenn es möglich sein wird, die einschlagenden Verhältnisse vollständiger zu überblicken, in weit bestimmterer Form ausgesprochen werden können.

---

*) Von entschiedenem Interesse ist desshalb der Gehalt des Meerwassers an gebundenem Stickstoff. Leider ist bei den Analysen noch selten diesem Interesse Rechnung getragen worden. Vierthaler fand (Jahresbericht der Chemie. 1867. p. 1032) an der Küste von Spalato im Meerwasser 13,8 Milliontel Ammoniak, was den Meteorwässern gegenüber schon einer entschiedenen Anreicherung entspräche. Salpetersäure hat man dagegen durch viele Analysen nicht aufzufinden vermocht.

Ferner gestatten uns die angestellten Betrachtungen über die Quellen der Vermehrung und Verminderung des gebundenen Stickstoffs ein Urtheil über die Wirksamkeit des Eingriffs menschlicher Handlungen in Bezug auf eine solche Vermehrung oder Verminderung. Man wird schon jetzt leicht einsehen, dass es gar sehr im menschlichen Interesse wäre, eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs auf der Erde zu bewirken, da hierdurch eine Vegetationsbedingung, an der häufig, wie aus den erfolgreichen Düngungen mit den verschiedensten stickstoffhaltigen Stoffen hervorgeht, Mangel herrscht, in grösserer Fülle hergestellt wird.

Es muss in dieser Hinsicht entschieden ausgesprochen werden, dass es in der Macht menschlicher Thätigkeit liegt, in erheblichem Masse freien Stickstoff in Verbindung überzuführen, andererseits den Uebergang des gebundenen in freien zu verhüten, *wenn dergleichen Massregeln auch nicht immer wirthschaftlich lohnende sind.* Die physische Möglichkeit dahin gerichteter Arbeiten eröffnet immerhin die Aussicht auf die dereinstige wirthschaftliche Ausführbarkeit durch Verbesserung der Methoden oder bei dringenderem Bedürfniss. Wir stellen jetzt schon Stickstoffverbindungen auf Kosten des ungebundenen atmosphärischen Stickstoffs dar, freilich nicht für den Gebrauch in der Landwirthschaft, sondern zu industriellen Zwecken, da die Produktionskosten noch nicht bis auf einen Punkt vermindert sind, dass es derselben möglich wäre, Nutzen aus dieser Darstellung zu ziehen.

Was die Massregeln zur Verhütung eines Verlustes an gebundenem Stickstoff bei Verbrennung und Verwesung stickstoffhaltiger organischer Substanzen betrifft, so liegen auch solche auf dem Gebiete der Ausführbarkeit. Wir wissen schon aus unsern beiden Methoden der Stickstoffbestimmung in organischen Substanzen, dass man bei der Verbrennung die Entbindung in Form von freiem Stickstoff durch Zumischung stark alkalischer Stoffe (Natronkalk) — wenigstens bei all' den organischen Substanzen, die hier in Betracht kommen, — vollständig verhüten kann. Etwas Aehnliches scheint auch für die Verwesungserscheinungen, mit denen wir es hier eigentlich allein zu thun haben, zu gelten. Auch bei diesen kann man, wie es scheint, durch Vermischung einer verwesenden organischen Substanz mit Kalk die Entbindung von freiem Stickstoff einschränken*), ohne dass freilich schon in diesem Sinne *mit Bewusstsein* von Kalkdüngungen wäre Anwendung gemacht worden.**)

Von dergleichen Massregeln, deren *physische Möglichkeit* allein hier festzustellen

---

*) Dies zeigen vielleicht die Versuche von E. Wolff. (Naturgesetzliche Grundlagen des Ackerbaus. 1856. p. 597), der Mist unter verschiedenen Umständen verrotten liess, und wenn er Kalk zumischte, den bei weitem geringsten Verlust an Stickstoff (7,5 %) beobachtete, einen geringeren als bei Vermischung mit Gyps, wo doch wegen Festhaltung des Ammoniaks ein geringerer hätte erwartet werden sollen. Doch bedarf diese wichtige Thatsache einer wiederholten experimentellen Feststellung, wie sie auch einer anderen Deutung fähig ist.

**) Von einer Seite ist auch die Behauptung aufgestellt worden, dass die Menge des aus einer stickstoffhaltigen organischen Substanz in freier Form austretenden Stickstoffs bei der eigentlichen Fäulniss grösser sei als bei der Verwesung und aus diesem Grunde das Ausbreiten des Mistes zur Begünstigung der Verwesung empfohlen worden, allerdings gestützt auf eine ziemlich unzuverlässige Argumentation (vergl Hallier: Gährungserscheinungen. 1867. p. 40).

meine Absicht war, sind strenge auseinander zu halten diejenigen Manipulationen, deren Zweck es ist, den im Einzelbesitz befindlichen gebundenen Stickstoff festzuhalten. Es ist natürlich für den einzelnen Landwirth eine unter Umständen höchst rentable Operation, wenn er durch Ueberstreuen seines stickstoffreichen Mistes mit Gyps, durch Vermischen des Latrinendüngers mit Eisenvitriol, durch rasches Unterpflügen des auf dem Acker liegenden Mistes sich vor Verlusten an gasförmig entweichendem Ammoniak hütet, aber — und dies bitte ich nicht ausser Augen zu lassen — an der einmal vorhandenen Menge gebundenen Stickstoffs ändern diese mannigfachen Manipulationen Nichts, und das bei Unterlassung derselben entweichende Ammoniak fällt beim nächsten Regen wieder auf die Erde nieder, aber eben nicht nur auf das Feld desjenigen Landwirths, der es hat entschlüpfen lassen, sondern auch auf die Felder aller andern. Hierin liegt der Grund jener Vorsichtsmassregeln, nicht etwa in der Möglichkeit, auf diese Weise die Menge des gebundenen Stickstoffs an sich zu vermehren.

So viel über die menschlichen Eingriffe in die Processe der Bindung und Entfesselung des Stickstoffs. In der hinter uns liegenden Betrachtung scheinen mir immerhin einige brauchbare Fingerzeige zu liegen, für die zukünftige Entwickelung der Düngerwirthschaft. — Wir kommen auf einige hier angedeutete Punkte ganz am Ende dieser Vorlesungen, wo die wirthschaftlichen Verhältnisse mit zu Rathe gezogen werden sollen, zurück.

Lassen Sie uns jetzt auf einen andern Gegenstand etwas näher eingehen, *auf die Mengen von Stickstoff, die einer Pflanze*, die keine Düngung empfängt, *von der Natur zur Verfügung gestellt werden.* Die Erörterung dieses Gegenstandes hat ein besonderes Interesse für uns wegen der an denselben sich später knüpfenden praktischen Fragen. Auch spielte derselbe eine Rolle in dem wissenschaftlichen Streite der in Bezug auf die Stickstofffrage auf verschiedenen Standpunkten stehenden Parteien.

Die Pflanze, die in einem bis dahin vegetationslosen und also völlig unorganischen Boden wurzelt, erhält von Natur Anweisungen auf folgende Stickstoffmengen, (vorausgesetzt, dass sie die Fähigkeit nicht besitzt, Ammoniakmengen aus der Atmosphäre durch ihre Blätter aufzunehmen):

Auf die in den atmosphärischen Niederschlägen regelmässig niederfallenden Mengen von Ammoniak- und Salpetersäure, *)

auf die in dem Boden (durch gewisse Fähigkeiten) festgehaltenen Mengen dieser Verbindungen, aus früheren Niederschlägen stammend,

auf die im Boden durch Verdunstungserscheinungen neu erzeugten Mengen von Ammoniak und Salpetersäure, die wir jedoch als sehr problematisch oder wenigstens äusserst gering veranschlagen müssen. **)

---

*) Der salpetrigen Säure, die nach Schönbein bei einer Reihe von Processen in Gemeinschaft mit Ammoniak Entstehung nehmen soll, wird desshalb nun nicht mehr besonders Erwähnung gethan, weil dieselbe unter gewöhnlichen Umständen sehr leicht in Salpetersäure übergeht.

**) Siehe p. 179.

Es kommt also zunächst darauf an, den Gehalt der atmosphärischen Niederschläge an solchen Verbindungen kennen zu lernen. Aus der grossen Masse von Angaben, welche über diesen Gegenstand vorhanden sind, entnehmen wir folgende Daten.

Die atmosphärische Luft zunächst, aus der Ammoniak und Salpetersäure durch Auswaschung in die wässrigen Niederschläge gelangen, enthält nach Bestimmungen an sehr verschiedenen Orten und von sehr verschiedenen Beobachtern 0,08—47,6 Milliontel Ammoniak, natürlich nicht frei, sondern an Salpetersäure oder bei unzureichender Menge derselben an Kohlensäure gebunden. Im Durchschnitt kann wohl ein Milliontel Ammoniak in der Luft unserer Breite angenommen werden.

De Saussure ist der Erste gewesen, der von den ammoniakalischen Dünsten der Atmosphäre sprach, und Liebig *) hat 1826 zuerst im Regenwasser salpetersaures Ammoniak nachgewiesen.

Der Salpetersäuregehalt der Atmosphäre ist unbekannt.

In den atmosphärischen Niederschlägen sind die in den vorliegenden Tabellen verzeichneten Mengen jener Stoffe gefunden worden.

Im Regen.

Ort.	Beobachter.	Zeit.	Salpetersäure.
Paris	Barral	Juni (Minimum)	1,84 Milliontel
„	„	Februar (Maximum)	11,77 „
„	„	Durchschnitt (6 Monate)	**6,21** „
Nantes	Bobierre	April (Minimum)	1,81 „
„	„	August (Maximum)	16,00 „
„	„	Durchschnitt (10 Monate)	**5,68** „
Paris	Boussingault	Januar 1858 (Minimum)	0,36 „
„	„	„ „ (Maximum)	2,11 „
„	„	Durchschnitt (5 Monate)	**1,02** „
Lyon	Bineau	Winter	0,3 „
„	„	Frühling	0,1 „
„	„	Sommer	2,0 „
„	„	Herbst	1,0 „
„	„	Durchschnitt	**1,0** „
Möckern	Knop	Juli	0,57 „
„	„	bei Gewitter	9,8 „

Ort.	Beobachter.	Zeit.	Ammoniak.
Paris	Barral	Mai (Minimum)	1,14 Milliontel
„	„	Februar (Maximum)	9,65 „
„	„	Durchschnitt von 6 Monaten	**3,72** „
Nantes	Bobierre	August (Minimum)	2,11 „
„	„	Dezember (Maximum)	15,67 „
„	„	Durchschnitt (10 Monate)	**5,94** „

*) Chemie in ihrer Anwendung. I. 1862. p. 317.

Ort.	Beobachter.	Zeit.	Ammoniak.
Liebfrauenberg	Boussingault	Juli (Minimum)	0,00 Milliontel
"	"	August (Maximum)	3,38 "
"	"	Durchschnitt (4 Beobachtungen)	**0,79** "
Paris	"	August (Minimum)	1,06 "
"	"	Juli (Maximum)	2,00 "
"	"	Durchschnitt (5 Beobachtungen)	**1,63** "
in Toulouse	Filhol	Januar und Februar	2,6—4,6 "
bei Toulouse	Filhol	April (Minimum)	0,44 "
"	"	März (Maximum)	0,83 "
"	"	Durchschnitt (6 Monate)	**0,65** "
Lyon	Bineau	Winter	16,3 "
"	"	Frühling	12,1 "
"	"	Sommer	3,1 "
"	"	Herbst	4,0 "
"	"	Durchschnitt	**6,8** "
Möckern	Knop u. Wolf	Mai (Minimum)	0,3 "
"	"	" (Maximum)	4,0 "

Doch wir haben neben dem Gehalt des Regens an Ammoniak und Salpetersäure auch den Gehalt der übrigen Niederschläge an diesen Stoffen zu berücksichtigen. Ich verweise hier auf eine kleine Tabelle, die nur Durchschnittszahlen enthält.

Im Schnee.

Ort.	Beobachter.	Zeit.	Salpetersäure.
Paris	Boussingault	1858 6 Beobachtungen	1,66 Milliontel
			Ammoniak.
bei Toulouse	Filhol	1855 1 Beobachtung	6,00 Milliontel
Möckern	Knop u. Wolf	1860 3 Beobachtungen	0—2,9 "
?	Boussingault	1853 2 Beobachtungen	1,2 "

In andern Niederschlägen wie Nebel, Thau wurden auch die Mengen der in denselben enthaltenen Salpetersäure und des Ammoniaks durch mehrere Experimentatoren bestimmt und namentlich für den Gehalt des Nebelwassers an Salpetersäure und Ammoniak zeitweise ausserordentlich hohe Resultate bis zu 138 Milliontel Salpetersäure und ebensoviel Ammoniak erhalten. Doch interessiren uns diese Angaben weniger, als die der aus grossen Höhen rasch herabfallenden Niederschläge, da der Gehalt jener an Ammoniak und Salpetersäure durch locale Verhältnisse bedingt sein wird. In Betreff der Schlossen ist zu erwähnen, dass dieselben nach mehreren Untersuchungen genau so viel Ammoniak enthalten, als der gleichzeitig gefallene Regen. *)

Aus den mitgetheilten Zahlen ist zunächst deutlich zu ersehen, dass die atmosphärischen Niederschläge mit ausserordentlicher Regelmässigkeit Ammoniak und

*) Die angegebenen Zahlen sind zu finden in: Landw. Centralbl. 1857. B. I. p. 413; 1858. B. II. p. 165; 1865. B. I. p. 46. Journal f. pr. Ch. 58. p. 373; 95. p. 318; ferner ziemlich vollkommen zusammengestellt: Heiden: Düngerlehre. I. p. 318 u. ff.; Knop: Kreislauf etc. II. p. 58 u. ff.

Salpetersäure zu enthalten pflegen. Die vorhandenen Abweichungen für die einzelnen Beobachtungs-Orte und -Zeiten sind jedenfalls nur z. Th. auf die Unsicherheit der Bestimmungsmethode, auf Versuchsfehler etc. zurückzuführen. Es ist vielmehr aus einzelnen Angaben mit Sicherheit zu schliessen, dass mehrere Experimentatoren vollständig Herr über die Methoden gewesen sind, und dass also die vorhandenen abweichenden Angaben dem wirklichen Sachverhalt entsprechen. Die atmosphärischen Niederschläge sind also je nach der Art ihres Entstehens ausserordentlich verschieden reich an Ammoniak und Salpetersäure, ohne dass es freilich bis jetzt geglückt wäre, diese Verschiedenheiten *) auf gemeinschaftliche Gesichtspunkte zurückzuführen.

Einige Schlüsse über die Abhängigkeit des Gehalts der atmosphärischen Niederschläge an jenen stickstoffhaltigen Stoffen von der Art ihres Entstehens sind indessen nach dem vorliegenden Untersuchungsmaterial zulässig und sind auch z. Th. von Knop **) und Boussingault ***) gemacht worden.

Der Gehalt eines Niederschlages, namentlich an Ammoniak scheint im Allgemeinen um so reicher zu sein, je länger ein solcher in Berührung mit der Atmosphäre war. Rasch niederfallende Regen sind verhältnissmässig arm, nebelartige Regen und der Nebel selbst sind verhältnissmässig reich an Ammoniak. Der Regen scheint ferner im Anfang seines Niederfallens am reichsten, später ärmer an Ammoniak zu sein, da alsdann die Luft eben durch den Regen mehr von diesem Stoffe gereinigt ist. Im Gewitterregen ist nicht mehr Ammoniak enthalten, als in dem gewöhnlichen Regen, während für den relativen Salpetersäuregehalt dieser Niederschläge noch keine genügenden Angaben vorliegen.

Von einigem Interesse ist ferner das Verhältniss der Ammoniak- und Salpetersäure-Mengen in den einzelnen Niederschlägen, für welches etwa Folgendes angegeben werden kann.

In den einzelnen Niederschlägen besteht durchaus kein constantes Verhältniss zwischen Ammoniak und Salpetersäure. Die Maxima an dem einen Bestandtheil treffen durchaus nicht regelmässig mit den Maxima des andern zusammen. Beide Stoffe sind in der Menge ihres Vorkommens grossen, aber durchaus nicht gleichmässigen (parallelen) Schwankungen unterworfen.

Der durchschnittliche Gehalt der Niederschläge an Salpetersäure ist nach den meisten Beobachtern etwas grösser als der an Ammoniak, jedoch nicht soviel grösser, als ihren respectiven Aequivalenten (54:17) entspricht, so dass man weit öfter gezwungen wird, neben salpetersaurem Ammoniak, kohlensaures Ammoniak im Meteorwasser anzunehmen, als freie Salpetersäure.

Die Salpetersäure scheint nach den meisten Angaben in ihrem Vorkommen in den Niederschlägen mehr von den Jahreszeiten abhängig zu sein (resp. in dem Gewitter-reichen Sommer in grösserer Menge aufzutreten) als das Ammoniak, für das sich eine solche Abhängigkeit von den Jahreszeiten nicht deutlich ergibt.

---

*) Bobierre fand sogar sehr verschiedene Mengen von Ammoniak und Salpetersäure im Regen, wenn er denselben gleichzeitig 7 Meter und 50 Meter über dem Erdboden auffing, und zwar oben viel weniger Ammoniak und etwas mehr Salpetersäure.

**) Landw. Versuchsst. III. p. 121. u. f.

***) Landw. Centralbl. 1858. B. II. p. 165.

Für den Reichthum der Niederschläge fremder, namentlich tropischer Zonen an Ammoniak und Salpetersäure liegen keine Angaben vor.

Soviel über den Nachweis des gebundenen Stickstoffs in den atmosphärischen Niederschlägen. — Vergleichen wir nun die Resultate dieses Befunds mit Dem, was die Theorie der Bildung des gebundenen Stickstoffs voraussehen liess, so müssen wir uns sagen, dass sie damit in genügenden Einklang zu bringen ist.

Vor Allem müssen wir vorausschicken, um den leicht sich ergebenden Irrthum zu vermeiden, als ob all' der gebundene Stickstoff, der im Regen und Schnee niederfällt, neu aus freiem Stickstoff durch die früher in's Auge gefassten Processe gebildet worden sei. Für die Salpetersäure ist dies allerdings der Fall, da sie, einmal niedergefallen, durch Bindung an Basen ihre Flüchtigkeit völlig verliert und nicht in die Luft zurückgelangen kann, aber nicht für das Ammoniak. Wir hätten Dies eigentlich schon aus dem Umstande schliesen können, dass häufig, ja in der Regel neben salpetersaurem Ammoniak, kohlensaures Ammoniak in den Niederschlägen enthalten ist und wir doch keine natürliche Bildungsquelle für dies letztere Salz aus freiem Stickstoff kennen. Gerade dieses gefundene Verhältniss von Ammoniak zu Salpetersäure in den wässrigen Niederschlägen zeigt auf's Deutlichste, dass das Ammoniak häufig zum grössten Theile als solches vom Erdboden, wo es sich bei der Fäulniss vieler Substanzen, namentlich der thierischen Ueberreste entwickelt, entwichen sein muss. Die in dem niedergefallenen Wasser enthaltene Salpetersäure gibt daher viel eher als das Ammoniak einen brauchbaren Massstab für die *Neubildung von gebundenem Stickstoff* an die Hand.

Berücksichtigen wir dann ferner, dass die Salpetersäure so durchaus unabhängig vom Ammoniak in den Niederschlägen auftritt, so sind wir zu der weiteren Folgerung berechtigt, dass in der Natur die Oxydation des Stickstoffs durch Ozon und durch den elektrischen Funken eine viel *hervorragendere Rolle* spielen muss, als die Bildung von salpetrigsaurem Ammoniak durch Addition von Wasser zu *Stickstoff,* bei Verdunstung, Verbrennung u. s. w.; denn ein Vorherrschen des letzteren Processes müsste offenbar auf ein gleichmässigeres Verhältniss zwischen Ammoniak und Salpetersäure (salpetriger Säure) hinwirken, wenn auch zugegeben werden muss, dass nicht alles auf diesem Wege gebildete salpetrigsaure Ammoniak in die Atmosphäre gelangen könnte.

Wir dürfen aber die Frage nicht aus den Augen verlieren, von deren Erörterung ausgehend, wir den Gehalt der atmosphärischen Niederschläge an stickstoffhaltiger Pflanzennahrung geprüft haben. Wir wollten sehen, auf welche Stickstoffzufuhr eine Pflanze auf unorganischem Boden angewiesen sei, und nun sind wir im Stande, zu beurtheilen, ob wir durch unsere angestellten Betrachtungen der Beantwortung der Frage einen Schritt näher gerückt sind.

Wir haben gefunden, dass alles Regen- und Schneewasser verdünnte, wenn auch homöopathisch verdünnte Lösungen von Ammoniak und Salpetersäure sind. Auf Grund der mitgetheilten Zahlen der Concentration dieser Lösungen sind nun schon häufig Berechnungen versucht worden zur Ermittelung der den Pflanzen auf diesem Wege zur Verfügung stehenden Stickstoffnahrung; aber hierbei machte sich die Schwierigkeit geltend, die uns bei nochmaliger Ueberblickung der vorliegenden Tabellen nicht entgehen wird. Die Zahlen sind unter sich so ausserordentlich

abweichend, dass man nach Willkühr (aber ohne im Mindesten unredlich zu sein) alles Mögliche aus denselben herausrechnen kann. Und so ist man denn in der That auf diesem Wege zu den allerwidersprechendsten Resultaten gelangt, um so mehr, als man so Gelegenheit fand, die allerverschiedensten Theorien durch „thatsächliche“ Belege zu beweisen.

Auf diese Weise scheint daher bei den noch unvollständigen Kenntnissen über die unter gewissen Umständen mit dem Regenwasser aus der Atmosphäre heruntergelangenden Mengen von assimilirbarem Stickstoff die uns vorliegende Frage nicht beantwortet werden zu können. Dennoch können wir zu einem gewissen Resultate gelangen, wenn wir auf die verschiedenen Angaben, die in Bezug auf den Gehalt der wässrigen Niederschläge gemacht worden sind, gleichzeitig Rücksicht nehmen und die Maxima und Minima, innerhalb deren die Wahrheit zu suchen ist, im Auge behalten.

Wenn wir die von Boussingault ermittelten Zahlen zu Grunde legen und eine Regenmenge von 24 Zoll annehmen, so erhalten wir jährlich eine Menge gebundenen Stickstoff von 0,91 ℔ im Ammoniak,
0,44 ℔ in der Salpetersäure,
also zusammen 1,35 ℔ Stickstoff pro preussischen Morgen. Acceptiren wir dagegen die weit höheren Zahlen von Way, die ich in der uns vorliegenden Tabelle nicht aufgenommen habe, so erhalten wir in Ammoniak und Salpetersäure auf die gleiche Fläche 4,6 ℔ Stickstoff, welche höhere Zahl theilweise auf die grössere in England fallende Regenmenge zu setzen ist. Legen wir schliesslich die hohen Zahlen von Barral zu Grunde und rechnen wir wieder 24 Zoll Regen, so empfängt der preussische Morgen 9,82 ℔ Stickstoff in assimilationsfähigem Zustande.

Selbst wenn wir die letzteren Zahlen, die mit Wahrscheinlichkeit als für den Durchschnitt zu hoch *) gegriffen bezeichnet werden können, als richtig annehmen, gelingt es, zu zeigen, dass die auf anorganischem Boden wachsende Pflanze von dieser Menge üppig nicht zu gedeihen vermag. Dies lässt sich auf die Weise demonstriren, dass man die Stickstoffmenge, die eine Pflanze auf solche Weise zugeführt erhält, mit der vergleicht, die sie bei der Ueppigkeit des Wachsthums, wie wir sie von den landwirthschaftlichen Nutzpflanzen zu verlangen pflegen, jährlich liefert. Ueber die Stickstoffmenge, die ein preussischer Morgen bei gewöhnlicher Bewirthschaftung zu liefern im Stande ist, besitzen wir, Dank den Boussingault'schen

---

*) Man fand auf den preussischen Versuchsstationen im Regen- und Schneewasser im Mittel dreijähriger Beobachtungen folgende Mengen gebundenen Stickstoffs pro 1 Jahr und pro Morgen:

zu Kuschen (Posen)	1,4 ℔	d. i. $5^3/_4$ ℔ durchschnittlich.
„ Insterburg (Ostpreussen)	3,6 „	
„ Dahme (Brandenburg)	3,8 „	
„ Regenwalde (Pommern)	7,1 „	
„ Sorau (Niederschlesien)	6,7 „	
„ Proskau (Oberschlesien)	11,9 „	

also durchschnittlich dieselben Zahlen, obwohl auch hier grosse Abweichungen. Vergl. auch Jahresber. f. Agrikulturchem. 1866. p. 70 u. 1867 p. 59.

Versuchen, ebenfalls ein gutes Urtheil. Dieser ermittelte, dass bei folgendem Fruchtwechsel *) für die Verhältnisse des Elsass folgende Mengen von Stickstoff in den Ernten erhalten werden konnten:

1)	Kartoffeln	23,6 ℔	Stickstoff
2)	Weizenkorn	13,4 „	„
	Weizenstroh	4,6 „	„
3)	Klee	43,2 „	„
4)	Weizenkorn	16,6 „	„
	Weizenstroh	5,7 „	„
	Stoppelrüben	6,2 „	„
5)	Haferkorn	11,8 „	„
	Haferstroh	2,6 „	„
	5 Ernten	127,7 ℔	Stickstoff auf den preuss. Morgen,
	d. i. durchschnittlich	25,5 ℔	Stickstoff auf den preuss. Morgen.

Wir haben es also in 25 $^1/_2$ Pfund Stickstoff mit Mengen zu thun, wie sie alljährlich auf unsern Feldern geerntet werden können, und wie wir sie bei unsern wirthschaftlichen Verhältnissen nothwendig unsern Feldern abverlangen müssten. Wir sehen, dass diese Menge, diejenige Menge Stickstoff, welche die Pflanzen durch wässrige Niederschläge erhalten, auch bei den unbescheidensten Annahmen von 9,8 Pfund beinahe um das Dreifache übersteigen. **)

Hierbei bleibt jedoch noch Mehrerlei zu berücksichtigen. Der in den wässrigen Niederschlägen enthaltene gebundene Stickstoff ist nicht der einzige, welcher der Pflanze, die noch immer auf unorganischem Boden wachsen soll, zur Verfügung steht. Zuerst bleibt allerdings zu erinnern, dass der in dem Boden enthaltene, von früheren Niederschlägen stammende Vorrath an Ammoniak und Salpetersäure der Gültigkeit der angestellten Betrachtung keinen Eintrag thut, denn dieser Vorrath, der doch immer eine endliche Grösse haben muss, kann blos für eine Reihe von Ernten ausreichen, muss aber dann durch die Anhäufung des Deficits erschöpft werden.

Es bleiben aber noch andere, wenn auch einigermassen fragliche Quellen von gebundenem Stickstoff zu erwähnen übrig, nemlich *die im Boden,* wo, wie wir uns erinnern, nach einigen Angaben (Cloëz und de Lucca und ausserdem Schönbein) durch Salpeterbildung aus freiem Stickstoff bei Gegenwart von alkalischen Substanzen und durch Bildung von salpetrigsaurem Ammoniak bei Verdunstung ***) freier Stickstoff in die gebundene Form übergehen soll. Es ist nun, wie leicht

*) Es genügt offenbar nicht, den Stickstoffgehalt einer beliebigen Jahresernte zu ermitteln, da dieser wesentlich auf Kosten von Ernterückständen der vorigen Jahre producirt sein kann.

**) Hierbei ist ganz unberücksichtigt gelassen, dass den Pflanzen wieder ein Theil des niedergefallenen Stickstoffs mit den Grundwässern verloren gehen kann, und in der vegetationslosen Periode in grossem Massstab verloren geht.

***) Sehr interessante Anhaltspunkte gewähren in dieser Hinsicht die im Berichte Bretschneiders (Pr. Annal. d. Landw. Monatsbl. 1870. p. 25) mitgetheilten Versuche, aus denen hervorgehen würde, dass durch die Verdunstung keine nennenswerthen Mengen gebundenen Stickstoffs (salpetrigsauren Ammoniaks) in der Ackererde entstünden.

eingesehen werden wird, sehr schwierig (um nicht zu sagen, unmöglich), wenigstens in Bezug auf die erstere Quelle *experimentell* festzustellen, ob *in der Natur* derartige Processe irgend eine erwähnenswerthe Rolle spielen, und ob erhebliche Mengen von gebundenem Stickstoff auf diesem Wege Entstehung nehmen, da wir im Boden unter natürlichen Verhältnissen durch eine Reihe von störenden Momenten hiervon abgehalten werden. Aus diesem Grunde ist die Beweisführung der unzureichenden Lieferung von Stickstoff auf dem von uns eingeschlagenen Wege nicht streng durchführbar, wenn auch gezeigt worden ist, dass die Quelle an gebundenem Stickstoff, die wir als die hauptsächlichste zu betrachten, einige Berechtigung haben, auch bei den vortheilhaftesten Annahmen nicht ausreichend ist für die Stickstoffproduktion unserer gewöhnlichen Ernten.

Wir müssen uns hier eben auf die praktische Erfahrung und auf Versuche im Grossen, wie sie z. B. von Lawes und Gilbert angestellt worden sind, berufen, durch welche gezeigt werden kann, dass bei jahrelang durchgeführter stickstofffreier Düngung bald nur noch geringe Ernten mit einem sehr geringen Stickstoffgehalt geliefert werden, welcher letztere die den Pflanzen nach Verbrauch des Stickstoffkapitals im Boden noch jährlich bleibende Stickstoffrente repräsentirt. Solche Versuche, durchgeführt mit sehr verschiedenen Arten der Düngung, sind beweisend genug für die zu einem üppigen Wachsthum ungenügende Menge des in der Natur alljährlich für die Pflanze zur Verfügung stehenden gebundenen Stickstoffs. *)

Allein es bleibt noch ein weiterer Einwurf zu berücksichtigen. Wir haben gelernt, dass manche Pflanzen, die auch landwirthschaftliche Nutzpflanzen sind, die Fähigkeit besitzen, sich das Ammoniak der Luft durch die Blätter anzueignen. Auch die Frage nach der Wichtigkeit dieses Vorgangs in der Natur sind wir durch unsere kaum nennenswerthen Experimente an derartigen Pflanzen nicht zu beantworten fähig. Auch hier muss wieder der Versuch im Grossen herhalten, und auch hier verdanken wir wieder den ausgedehnten Feldversuchen von Lawes und Gilbert brauchbare Resultate, die schon früher erwähnt worden sind. Diese Experimentatoren fanden nemlich, dass die bei Unterlassung aller Stickstoffdüngung gelieferten Stickstoffernten, welche bei continuirlichem Anbau irgend einer Halmfrucht bald ziemlich constante Grössen erreichten, durch Einschaltung einer jener Pflanzen sehr erheblich gesteigert werden konnten. Nicht blos die Stickstoffmenge einer Kleeernte, einer Erbsenernte **) war bedeutend grösser, als die Menge, welche vorher durch eine Halmfrucht geliefert werden konnte, sondern auch die auf Klee oder

*) Ganz etwas Aehnliches, wenn auch nicht mit derselben Bestimmtheit, zeigen manche Vegetationsversuche im Stickstoff-freien Boden, wo die Pflanzen mit Regenwasser begossen wurden, oder auch unbedeckt im Freien aufgestellt waren. Der Entzug der stickstoffhaltigen Bestandtheile macht sich bei solchen Versuchen immer viel empfindlicher bemerkbar, als die Entfernung der organischen Bodenbestandtheile; vergl. z. B. E. Wolff: Praktische Düngerlehre 1868 p. 15—17. Hierin liegt ausserdem ein Wink für die Bedeutsamkeit des Humus als Stickstoffquelle, wovon später die Rede sein soll.

**) Auch der absolute Gehalt an Stickstoff von Klee, Erbsen und Verwandtem ist bedeutender, als der von Roggen und Hafer; vergl. Chemisch. Ackersm. 1869 p. 240, wo sich folgende Zusammenstellung findet:

Erbsen folgende Halmfrucht ergab (jedenfalls in Folge der stickstoffhaltigen Erntereste jener Gewächse) eine grössere Menge Stickstoff in der Ernte.

Es ist also in diesem Falle durch den Versuch im Grossen allerdings bestätigt, dass für gewisse Pflanzen *) noch ausser den in den wässrigen Niederschlägen enthaltenen, sehr erhebliche Mengen von Stickstoff zu Gebote stehen, allein gerade die Erfahrungen in der Praxis lehren auch in diesem Falle *unzweideutig*, dass selbst für derartig begabte Pflanzen (oder wenigstens für Fruchtwechsel, in welche diese Pflanzen eingeschaltet sind) *die bis jetzt betrachteten Stickstoffquellen durchaus unzureichend sind* den Anforderungen gegenüber, die wir an die Kulturgewächse zu stellen gezwungen sind, — für ein einigermassen freudiges Gedeihen der Pflanzen.

Diese Anschauung können wir mit voller Sicherheit aus der angestellten Betrachtung mit hinweg nehmen, wenn ich auch darauf aufmerksam mache, dass es vor weiteren Versuchsanstellungen nicht erlaubt ist, dasselbe auf andere Klimate, für die wir die Menge des der Pflanze in jenen Quellen zur Verfügung stehenden Stickstoffs nicht kennen, zu übertragen. Die Verhältnisse könnten in tropischen und sehr regenreichen Gegenden möglicherweise ganz andere sein, wenn dies auch nach den bis jetzt bekannt gewordenen Erfahrungen einigermassen unwahrscheinlich ist.

Wir können das Resultat, zu dem wir nunmehr gelangt sind, ungefähr in folgender Weise aussprechen:

Der auf völlig unorganischem Boden, dem also keinerlei thierische oder pflanzliche Reste einverleibt worden sind, *wachsenden Pflanze werden durch die Natur alljährlich gewisse Mengen Stickstoff zu Gebote gestellt, die jedoch den Anforderungen der meisten Gewächse zu einem üppigen Gedeihen* und somit einer intensiven Kultur *nicht genügen*. — Hierin liegt einer der Gründe, dass Pflanzen, namentlich Kulturpflanzen, auf einem Boden, der wesentlich nur aus verwitterten Felstrümmern besteht, oder im ausgeglühten Boden nicht üppig zu gedeihen vermögen.

Die wildwachsende Pflanze befindet sich nun aber ganz regelmässig in (von den eben willkürlich angenommenen) ganz abweichenden Verhältnissen. Dieselbe wurzelt in einem Boden, dem keine Ernten entnommen werden, und erhält in den stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukten einer dahingegangenen Generation eine

	Hafer	Roggen	Klee	Erbsen	Lupinen
ganze Pflanze	2,6	2,6	3,5	3,5	3,0
do. vor d. Blüthe	1,7	1,6	2,8	2,6	1,8
Stroh d. reifen Pfl.	0,5	0,4	1,5	1,2	0,9
reifer Samen	2,0	1,9	4,0	3,5	5,0

*) Auf welche physiologische Eigenthümlichkeiten der Leguminosen schliesslich deren anscheinend vorzugsweise Begabung, sich den gebundenen Stickstoff der Luft anzueignen, zurückgeführt werden wird, muss bei der ungenügenden experimentellen Bearbeitung des betreffenden Gegenstands noch eine offene Frage bleiben. Einstweilen hat man sich aber wohl nur einen gradweisen Unterschied der betreffenden Fähigkeit zu denken, der von der Dichte der Belaubung, Einrichtung der Spaltöffnungen und Intercellularräume, Reaktion des Zellsafts und dergl. abhängig ist. Versuchsanstellungen in der bezeichneten Richtung würden sehr dankenswerthe Unternehmungen sein.

reichliche Stickstoffnahrung; es kommt ihr so ausser der jährlichen „Stickstoffrente" auch noch grossentheils der einmal angesammelte, immer wieder von Neuem nutzbar werdende Stickstoffvorrath zu Gute.

Der die Pflanzen kultivirende Landwirth, der jährlich diesen angesammelten Vorrath (bis auf einen kleinen Rest) in der Ernte wegnimmt, versetzt durch diesen Eingriff an sich die Pflanze in einen ähnlichen Zustand, in dem sie sich auf einem neu occupirten Terrain oder im ausgeglühten Boden befindet. Dieselbe bleibt, wenn der Landwirth nicht auch in einer andern Richtung thätig eingreift, wieder auf die für ein üppiges Gedeihen unzureichende Stickstoffrente angewiesen, da es zu keiner erheblichen Ansammlung an Stickstoffkapital kommen kann. — Aus diesem Gesichtspunkte erklärt sich dann später (unter Berücksichtigung der Preisverhältnisse) für die meisten Pflanzen die wirthschaftliche Nothwendigkeit der Stickstoffdüngung.

Eine Zeit lang war man von gewisser Seite her geneigt, nach dem Vorgang Liebig's, die von uns soeben beantworteten Fragen in einem ganz abweichenden Sinne zu erledigen. Ich habe es um so mehr vermieden, auf die hieraus sich ergebende Kontroverse, die einen beträchtlichen Theil des bekannten Streites zwischen „Stickstofftheorie" und „Mineraltheorie" ausmacht, näher einzugehen, weil beweiskräftige Belege für die eine oder die andere Anschauung Anfangs von keiner der beiden Parteien beigebracht worden, und vielleicht erst als das Ergebniss der bei dieser Gelegenheit gemachten Erörterungen zu betrachten sind. Es war mit anderen Worten ein Streit, der (wie Dies bei der theoretischen Behandlung landwirthschaftlicher Fragen, ich möchte beinahe sagen, eine regelmässige Erscheinung ist) ohne die nöthige Sachkenntniss geführt wurde und desshalb heute wenig Interesse mehr bieten kann.

Daran kann jedoch gar kein Zweifel sein, dass die eben von uns aufgestellten Sätze jetzt als unbestreitbar richtig angesehen werden können.

Noch vor dem Schlusse dieser Vorlesung müssen wir kurz auf einen Punkt eingehen, der sich bis jetzt in unserer Betrachtung nur so nebenbei ergeben hat, der aber gleichwohl unsere Beachtung in vollem Masse verdient. Ich meine die eigenthümliche Assimilation des Stickstoffs durch gewisse Pflanzen, wie die Leguminosen. Dieser Vorgang der Aufnahme des kohlensauren Ammoniaks durch die Blätter, die experimentell nachgewiesen werden konnte, hat für die genannten Pflanzen zur Folge, dass sie unter genau denselben Verhältnissen (demselben Ammoniakreichthum der Atmosphäre) weit grössere Mengen gebundenen Stickstoffs in sich aufzunehmen vermögen als andere Pflanzen.*) Die in Folge davon vorhandene Möglichkeit, durch Anbau solcher Pflanzen weit grössere Mengen von Stickstoff zu ernten, und also bei Mangel an stickstoffhaltigen Düngemitteln weit grössere Ernten zu machen, als sonst möglich wäre, die weniger eine Folgerung aus jener Beobachtung der abweichenden Ernährung dieser Pflanzen ist, sondern durch Versuche im Grossen und im Grunde schon durch eine aufmerksame Beobachtung gewisser Erscheinungen in der landwirthschaftlichen Praxis festgestellt werden konnte, ist die

*) Ich brauche nicht mehr hervorzuheben, dass diese Annahme mehr auf der praktischen Erfahrung als auf einem exakten experimentellen Nachweis beruht.

Ursache der eigenthümlichen Stellung, die jene Pflanzen in der Fruchtfolge einzunehmen pflegen.

Es muss einen Jeden, der mit den Grundsätzen der Ernährungslehre der angebauten Gewächse bekannt ist, in grosses Erstaunen versetzen, von den landwirthschaftlichen Statikern *) der älteren Schule immer von Neuem den Satz aussprechen zu hören, dass es neben den gewöhnlichen bodenausraubenden Gewächsen andere gäbe, die geradezu von Einigen von ihnen als „bodenbereichernde" bezeichnet werden, da wir doch wissen, dass wir durch eine jede Ernte dem Boden gewisse nützliche Bestandtheile entziehen.

Wir sind aber, gegenüber dieser uns Anfangs so befremdend klingenden Thatsache, nun nicht etwa im Stande, jene vorzüglichen Beobachter, deren Erfahrungen theilweise, wie Drechsler **) gezeigt hat, mit beinahe komischer Uebereinstimmung in unsere exaktere Ausdrucksweise übersetzt werden können, des Irrthums zu zeihen, so sehr wir auch zuerst geneigt sein mögen, jene nicht in unsere Vorstellungen passenden Beobachtungsresultate als alten Plunder bei Seite zu werfen. — Der Widerspruch ist auf diese bequeme Weise nicht wegzuschaffen.

Wenn wir indessen genauer zusehen, so finden wir, dass jene „bodenbereichernden" oder nach den schärferen Beobachtern nur „fruchtbarkeitsvermehrenden" Gewächse dieselben Pflanzen sind, für die heute die naturwissenschaftliche Forschung die besondere Fähigkeit wahrscheinlich gemacht hat, sich durch jene eigenthümliche Assimilationsart des atmosphärischen Ammoniaks weit grössere Mengen von Stickstoff anzueignen als andere Gewächse. — Und nun verschwindet plötzlich der Widerspruch. Wir brauchen nur zu erwägen, dass in einem Boden, in dem der verfügbare Stickstoff nicht in allzugrosser Menge vorhanden ist — und in welchem Boden der in unserer Weise kultivirten Länder ist der Stickstoff im Ueberschuss vorhanden? — es gerade auf diesen bei der Pflanzenernährung praktisch ankommt, während an andern Nährstoffen ein grosser Ueberschuss bestehen kann ohne Nutz und Frommen für die gebauten Gewächse. Diesen Stickstoffgehalt vermögen nun der Klee und die Hülsenfrüchte durch Hinterlassung stickstoffhaltiger Wurzelrückstände zu vermehren und auf diese Weise, obgleich sie dem Boden andere, aber in diesem Falle vielleicht unnütze Stoffe entziehen, den Boden zu bereichern. ***) Es soll hiemit nicht gesagt sein, dass nicht auch andere Eigenthümlichkeiten dieser Pflanzen, namentlich des Klees hier mitwirken; im Wesentlichen lässt sich doch die von jenen älteren scharf beobachtenden Statikern festgestellte und in so befremdlicher Weise ausgesprochene Thatsache auf den dargelegten Zusammenhang zurückführen.

Hierauf beruht es also, dass der Klee häufig da in den Fruchtwechsel eingeschaltet wird, wo der Boden bereits an Stickstoff einigermassen verarmt ist und wo das Getreide sehr schlechte Resultate liefern würde. — Soviel an dieser Stelle über diesen Gegenstand.

---

*) Drechsler: Die Statik des Landbaus. 1869. p. 1—59.

**) A. a. O. p. 94.

***) Damit steht nicht im Widerspruch, dass trotz Einschaltung derartiger Pflanzen in den Fruchtwechsel Stickstoffdüngungen nicht umgangen werden können, da die dargelegte Wirksamkeit häufig keine für die Zwecke der Kultur ausreichende ist.

Wir wollen nun die Sätze, zu denen wir im Verlauf dieser drei Vorlesungen über die Aufnahme der stickstoffhaltigen Nährstoffe der höhern grünen Pflanze gelangt sind, nochmals kurz zusammenfassen:

1) Alle Pflanzen enthalten stickstoffhaltige Stoffe, die ihnen unentbehrlich sind.
2) Alle Pflanzen enthalten in ihren jugendlichen, der Neubildung fähigen Zellen stickstoffhaltige Stoffe, die der Proteïngruppe angehören.
3) Diese Stoffe bilden sich an sehr verschiedenen Orten der Pflanze aus stickstofffreier organischer Substanz und (wenigstens der Regel nach) stickstoffhaltigen anorganischen Verbindungen.
4) Charakteristische Merkmale für den Ort dieser Bildung sind bis jetzt nicht aufgefunden worden.
5) Geht diese Bildung, wie voraussichtlich, einerseits auf Kosten von Kohlehydraten vor sich, so muss gleichzeitig Kohlensäure (oder irgend ein anderer hochoxydirter Kohlenstoff-haltiger Körper) entstehen.
6) Der freie Stickstoff der Luft vermag die höhere grüne Pflanze nicht zu ernähren.
7) Hierzu sind Ammoniak- oder Salpetersäure-Verbindungen nothwendig; gelegentlich können auch einige, dem Zerfall in anorganische Stoffe nahestehende, stickstoffhaltige organische Verbindungen für jene eintreten.
8) Es sind in der Natur mehrere Processe der Neubildung von gebundenem Stickstoff auf Kosten des freien bekannt; der wichtigste davon ist, die Bildung von Salpetersäure durch Oxydation des Stickstoffs durch den elektrischen Funken.
9) Der gebundene Stickstoff der organischen Substanzen geht umgekehrt theilweise bei den Verbrennungs- und Verwesungs-Erscheinungen in freien Stickstoff über.
10) Das Pflanzenleben wird entschieden in seiner Ueppigkeit durch jenen ersten Uebergang 8) begünstigt, während dieses jenen zweiten entgegengesetzten Uebergang begünstigt, so dass es als eine Art von Regulator gegen das Ueberhandnehmen des einen Processes betrachtet werden kann.
11) Der Pflanzenwelt steht in der Natur ausser dem im Boden enthaltenen Stickstoff eine gewisse stets fliessende Stickstoffquelle in Form des Ammoniaks und der Salpetersäure der atmosphärischen Niederschläge zu Gebote.
12) Von dieser Quelle allein vermag jedoch die Pflanze im Allgemeinen keine für die Anforderungen einer intensiveren Kultur genügende Menge von Stickstoff zu schöpfen.
13) Der Landwirth, der die Stickstoffquelle des Bodens durch seine Ernteentnahme auf ein Minimum reducirt, ist (für die Verhältnisse der gemässigten Zonen und der civilisirten Länder) fast ausnahmslos gezwungen — will er anders die übliche Grösse der Ernte beanspruchen —, durch Düngung der Pflanze eine neue Quelle zu eröffnen.
14) Die Aufnahme der Salpetersäure durch die Pflanzen geschieht allein durch die Wurzeln, in Form einer Reihe von salpetersauren Salzen, die Aufnahme des Ammoniaks an starke Mineralsäuren gebunden durch die Wurzeln und an Kohlensäure gebunden, auch unter Umständen in Gasgestalt durch die Blätter.

Dreizehnte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanze. — Die stickstoffhaltigen organischen Bestandtheile der Pflanzen.

Wir wollen heute von den *stickstoffhaltigen organischen Substanzen* der Pflanze reden, und zugleich deren Funktionen, soweit es möglich, zu ergründen suchen, geradeso, wie wir dies früher für die stickstofffreien organischen Substanzen gethan haben. Wir wissen schon aus den Betrachtungen, die wir in der 10. Vorlesung angestellt haben, dass die wichtigsten stickstoffhaltigen organischen Substanzen der Pflanze die sogenannten Proteïnstoffe sind, und haben auch schon einen ungefähren Begriff von deren Zusammensetzung erhalten.

Es wurde gezeigt, dass der protoplasmatische Zellsaft, der in allen Gewebetheilen, wo intensive vegetative Vorgänge sich abwickeln, ohne alle Ausnahme als Träger dieser Vorgänge gefunden wird, regelmässig Proteïnsubstanzen *) in sich enthält; ferner darauf hingedeutet, dass in dieselbe Gruppe gehörige, stickstoffhaltige organische Körper als Reservestoffe neben den früher betrachteten stickstofffreien ganz regelmässig vorgefunden werden.

Aus dieser letzteren Thatsache scheint, nebenher gesagt, hervorzugehen, dass die Bildung der Proteïnstoffe aus stickstofffreier organischer Substanz und den stickstoffhaltigen anorganischen Nahrungsmitteln, obgleich dieselbe in jeder Pflanze nothwendig erfolgen muss, doch nicht zu jeder Zeit und an jedem Ort des Pflanzenorganismus vor sich gehen kann, denn sonst würde die Aufspeicherung von Proteïnstoffen neben den Fetten oder Kohlehydraten offenbar keinen Nutzen für die Pflanze haben. Das junge knospende oder keimende Organ, das mit seinem grossen Bedarf an eiweissartigen protoplasmatischen Stoffen auf den Inhalt der Reservestoffbehälter angewiesen ist, besitzt offenbar die Fähigkeit noch nicht, aus den stickstofffreien organischen Stoffen und stickstoffhaltigen anorganischen Stoffen sich die Proteïnsubstanzen selbst in genügenden Mengen zu erzeugen.

Zuerst wollen wir es uns zur Aufgabe machen, die Proteïnsubstanzen, wie sie in der Pflanze vorkommen, mit ihren Eigenschaften und Reaktionen etwas näher in's Auge zu fassen, geradeso, wie wir dies früher für die ternär zusammengesetzten organischen Substanzen, die blos Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthalten, gethan haben. An diese Betrachtung wird sich dann auch noch ein kurzer Ueberblick über die andern stickstoffhaltigen organischen Substanzen, die noch sonst in der Pflanze vorkommen mögen, denen wir aber meistens keine erhebliche Wichtigkeit für die Lebensvorgänge dieses Organismus einräumen können, anschliessen.

Wir müssen für die Betrachtung der Proteïnstoffe vorausschicken, dass wir bei Besprechung der Zusammensetzung derselben noch auf zwei andere Elemente stossen werden, die regelmässig oder gelegentlich als constituirende Bestandtheile neben den

*) Die Ausnahmen, die es von diesem Satze vielleicht für niedrige Pflanzen gibt, sind noch nicht mit genügender Sicherheit festgestellt und gelten wohl keinenfalls für die höhern grünen Gewächse.

vier andern, von deren Betheiligung an dem Aufbau jener Stoffe wir bereits Kenntniss haben, auftreten. Schon aus diesem Sachverhalt wird dann leicht der Schluss gezogen werden können, dass sich auch noch andere Stoffe (als die bisher hierauf geprüften) für die Ernährung der Pflanze als unumgänglich nöthig erweisen werden. Doch wollen wir dies Resultat, zu dem wir nebenbei gelangen werden, vorerst bei Seite liegen lassen, um dann in der nächsten Vorlesung durch eine hiezu geeignete Methode mit einem Schlag den Bedarf der Pflanzen nach einer ganzen Reihe von bisher unbeachteten Substanzen aufzudecken.

Als wir früher von der Entstehung der Proteïnstoffe sprachen, da haben wir schon auf die relative Sauerstoffarmuth dieser Substanzen hingedeutet, die es nöthig machte, bei dem Process ihrer Bildung (einerseits auf Kosten von Kohlehydraten) einen Spaltungsprocess mit Kohlensäureentbindung anzunehmen, und welche die Proteïnstoffe in dieser Hinsicht neben die Fette stellt. Ganz dasselbe ergibt sich aus dem Platz, den man den Proteïnstoffen auf der früher erläuterten Tafel II anweisen muss, wenn man diesen nach seinem relativen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalt wählt, den Stickstoffgehalt ganz vernachlässigt. Dieser Platz ist auf der Tafel I durch „Proteïn — N“ *) verzeichnet. Allein man kann zweifeln, ob dieser Platz der ist, der der Substanz eigentlich entspricht, da es natürlich nicht möglich ist, Verbindungen, die aus 4 Elementen bestehen, auf einer Fläche in dem früher von uns erläuterten Sinne anzuordnen, und desshalb ist auch der Platz verzeichnet, der sich für die Proteïnstoffe berechnet, wenn man den Stickstoff in Form von Harnstoff austreten lässt, was dem Wirkungswerth dieser Stoffe im thierischen Körper als Athmungsmittel entspricht. Dieser Platz, bezeichnet durch „Proteïn — Harnstoff“, lässt noch deutlicher die Stellung der Proteïnstoffe in der Nähe der Fette hinsichtlich ihres relativen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgehalts erkennen.

Wenn wir nun auf Zusammensetzung und Eigenschaften der sogenannten Proteïnstoffe näher eingehen, so können wir gleich von Anfang eine Scheidung in zwei Gruppen vornehmen, die nicht blos physiologisch sich ganz von selbst ergibt, sondern auch chemisch gut durchzuführen ist — die Scheidung in die im Protoplasma enthaltenen, wenn ich so sagen darf, gerade funktionirenden Proteïnstoffe und in jene anderen, zur Zeit ruhenden, in unlöslicher Form abgelagerten.

Zuerst aber ist hervorzuheben, dass die Proteïnstoffe **) der beiden Gruppen und von den verschiedensten Eigenschaften, ebenso wie die Kohlehydrate, fast genau die

*) Für die Proteïnstoffe ist bei dieser Stellung die Formel Lieberkühn's für Albumin $C_{72}H_{112}N_{18}SO_{22}$ (welche auch für die andern Proteïnsubstanzen als annähernd richtig betrachtet werden kann) unter Vernachlässigung des Schwefels zu Grunde gelegt.

**) Der Ursprung des Wortes „Proteïnstoffe“ ist allgemein bekannt. Mulder hatte auf seine Untersuchungen hin (vergl. Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 28 p. 81) versucht, diese sämmtlichen sonst eiweissartige Stoffe genannten Verbindungen auf einen einzigen Schwefel- und Phosphor-freien Körper, den er wegen seiner hervorragenden Wichtigkeit Proteïn nannte, zurückzuführen. Dieser Versuch ist zwar (vergl. Liebig: Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 57 p. 133 und Laskowski ebenda B. 58 p. 129) als vollkommen misslungen anzusehen; trotzdem hat sich der Name eingebürgert, und es würde vergebliche Mühe sein, sich gegen denselben aufzulehnen.

gleiche Zusammensetzung haben, wie schon daraus hervorgeht, dass wir auf jener Tafel für alle zugleich die Stellung bezeichnet haben, die ihrem relativen Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff entspricht.

Die weiteren gemeinschaftlichen Eigenschaften aller der verschiedenen in den Pflanzen vorkommenden Proteïnsubstanzen und die auch zugleich für die Proteïnsubstanzen des thierischen Körpers ihre Geltung haben, lassen sich kurz dahin zusammenfassen, dass sie alle im reinen Zustand farblos, geruch- und geschmacklos sind, dass sie durchweg nicht die Fähigkeit haben, zu krystallisiren, sondern, wenn nicht einem organisirten Gewebe angehörig, in völlig amorpher Beschaffenheit auftreten, dass sie an sich nicht flüchtig sind, sich vielmehr bei höherer Temperatur unter Ausstossung des bekannten Geruches „nach verbranntem Horn“ zersetzen. Die wässrigen Lösungen der Proteïnstoffe, die sich für einige derselben herstellen lassen, sind grossentheils durch Alkohol und durch Mineralsäuren fällbar. Mit Zucker und Schwefelsäure behandelt färben sich die Proteïnstoffe purpurroth; eine ähnliche Färbung wird bewirkt durch salpetrige Säure enthaltendes salpetersaures Quecksilberoxyd in der Wärme. Gelb werden dieselben durch Jodtinktur und durch concentrirte Salpetersäure gefärbt. *) Auf diesen verschiedenen charakteristischen Reaktionen beruht zum Theil die Möglichkeit, unter dem Mikroskop die proteïnhaltigen Pflanzentheile mit Sicherheit zu erkennen.

Was das Verhalten der ganzen Gruppe der Proteïnstoffe in physiologischer Hinsicht betrifft, so ist die Gleichwerthigkeit derselben als Nahrungsmittel des thierischen Körpers, soweit sie natürlich verdaulich sind, hervorzuheben.

Mit Wasser in Berührung sind die Proteïnstoffe der Fäulniss leicht zugänglich. Diese beruht, wie es scheint, theilweise auf sogenannter freiwilliger Zersetzung, theilweise auf einem durch niedrige Organismen bewirkten Stoffumsatz.

Soviel über das gemeinschaftliche Verhalten aller Proteïnstoffe. Nun zu den Eigenschaften der den beiden von uns unterschiedenen Gruppen angehörigen Verbindungen.

Die *Proteïnkörper* des *lebensthätigen Protoplasma* können als identisch mit dem *Pflanzeneiweiss* oder *Pflanzenalbumin* angesehen werden. Dieses ist daher in gelöster Form, oder doch mindestens in halbflüssiger Form (wenn man den mehr oder minder körnigen Zustand des Protoplasma nicht als gelöst bezeichnen will) in der Pflanze vorhanden. Welche wichtige Funktion dem Eiweiss, als den protoplasmatischen Zellsaft (den wir als den Sitz aller Lebenserscheinungen im pflanzlichen Organismus oftmals genannt haben) wesentlich constituirend, zukommt, geht aus dieser Sachlage deutlich hervor. Ich brauche indessen kaum hinzuzufügen, dass die chemische Untersuchung dieses Pflanzeneiweiss' bis jetzt nicht vermocht hat, die Ursache von dessen Befähigung zu dieser merkwürdigen Rolle aufzuhellen.

Die Eigenschaften des Pflanzeneiweiss sind sehr ähnlich denen des thierischen. Es ist löslich in Wasser und fällt aus diesem durch Erhitzen auf 55—75° C aus in Gestalt eines Gerinnsels, genau wie dies vom thierischen Eiweiss, z. B. dem Eiweiss der Hühnereier bekannt ist. Lab hat nicht die Fähigkeit, es niederzuschlagen.

---

*) Das Letztere kann man bekanntlich sehr häufig an den Fingern der Chemiker nach Anstellung unfreiwilliger Reaktionen bemerken.

Die Zersetzung des Pflanzeneiweiss ist auch nach den neueren sehr exakten Untersuchungen je nach seiner Darstellung aus verschiedenen Pflanzen noch etwas verschieden, jedoch von nahezu befriedigender Uebereinstimmung gefunden worden, so dass man die gegründete Hoffnung hegen darf — und dafür spricht auch die Gleichheit der Reaktionen des Eiweiss' von verschiedener Herkunft —, dass man es in den verschiedenen Fällen mit einem und demselben chemischen Körper zu thun hat.

Es wurden gefunden:

C	H	N	O	S
53,1—54,7 %	7,1—7,8 %	15,6—15,9 %	22,1—22,5 %	0,8—1,0 %

Vergleicht man diese Zusammensetzung mit der des thierischen Eiweiss, z. B. des Eiweiss aus Blutserum

C	H	N	O	S
53,0 %	7,1 %	15,6 %	22,9 %	1,1 %

so sieht man allerdings eine merkwürdige Uebereinstimmung zwischen den gefundenen Zahlen; dennoch ist die Identität beider Substanzen mehr als zweifelhaft. Namentlich scheint für das thierische Eiweiss ein geringer Phosphorgehalt (0,3 0,4 %) charakteristisch zu sein, der für das vegetabilische nicht angenommen wird. Man nimmt auch in neuerer Zeit mehrere thierische Eiweisse an, die sich namentlich durch ihren Schwefelgehalt unterscheiden.

Eine einigermassen sichere Formel hat für das Eiweiss (sowie für die Proteïnsubstanzen überhaupt) noch nicht herausgerechnet werden können, da die Differenzen in den gefundenen Zahlen noch die Wahl der Zahl der Atome unmöglich machen. Bei den hohen Zahlen, mit denen man es bei Formeln von so hohem Molekulargewicht, wie es die Proteïnstoffe jedenfalls besitzen, zu thun hat, erzeugt natürlich ein verhältnissmässig kleiner Versuchsfehler eine viel grössere Unsicherheit in der Feststellung der Formel als bei Verbindungen von kleiner Atomzahl. Selbstverständlich kann unter solchen Umständen noch viel weniger an eine Ermittelung der *chemischen Constitution* der Proteïnstoffe im Allgemeinen und des Pflanzeneiweiss' im Besondern gedacht werden. Ueber dieselbe ist in der That nichts bekannt, und schon aus diesem Grunde wird auch die Möglichkeit einer künstlichen Synthese dieser Stoffe noch für lange Zeit in Zweifel gezogen werden können.

Ueber die Verbreitung des Pflanzeneiweiss' brauche ich kaum besondere Mittheilungen zu machen; dieselbe ergibt sich schon aus dem, was wir früher über das Vorkommen des Protoplasma in der Pflanze gesagt haben. Wir haben damals hervorgehoben, dass in allen den Zellen, die noch der Sitz lebhafter Lebenserscheinungen, namentlich von Neubildungen sind, sich ein eiweissreiches Protoplasma befindet. Es sind also dieselben Pflanzentheile, welche auch der Sitz intensiver Athmungserscheinungen sind, in denen wir nach den gegebenen Auseinandersetzungen das Pflanzeneiweiss vorzugsweise zu suchen haben.

In den älteren Gewebetheilen, die die Fähigkeit verloren haben, aus sich heraus neue Zellbildung zu veranlassen, ist wenig oder kein Protoplasma mehr zu finden und mit ihm ist natürlich auch das Pflanzeneiweiss verschwunden.

Aus allem dem Gesagten aber geht für die Rolle des löslichen Eiweiss' in der Pflanze hervor, dass es ganz dieselbe Stelle einnimmt unter den stickstoffhaltigen organischen Bestandtheilen, wie die Glycose unter den stickstofffreien organischen

Bestandtheilen der Pflanze. Beide sind die *physiologisch thätige und circulirende Form* der beiden Stoffgruppen, deren Glieder sie sind, während der Ruhezustand in den Reservestoffbehältern, wie wir sogleich auch für die Proteïnstoffe erkennen werden, in ganz anderer Gestalt angetreten wird. Wir werden noch Gelegenheit haben, diese Parallele weiter zu verfolgen.

Während die Gruppe der in der Pflanze gelösten Proteïnstoffe, soweit wir wissen, nur durch die einzige eben besprochene Substanz des Eiweiss gebildet wird, haben wir in der andern Gruppe der in ungelöster Form im Ruhezustand abgelagerten Proteïnstoffe eine grössere Reihe einzelner Substanzen von erheblich verschiedenen Eigenschaften aufzuzählen, ganz analog, wie wir gegenüber der circulirenden Glycose unter den stickstofffreien Stoffen eine ganze Reihe von ruhenden stickstofffreien Reservestoffen, wie Inulin, Stärkemehl, Rohrzucker, Fette etc. zu verzeichnen hatten. *)

Wenn wir z. B. die proteïnartigen Reservestoffe des Weizenkorns oder des Kornes irgend einer andern Getreideart einer genauern Untersuchung unterwerfen, so gelingt es leicht, mehrere Substanzen von ganz verschiedenen Eigenschaften von einander zu trennen, die gleichwohl alle wirkliche Proteïnstoffe sind. Der sogenannte Kleber, den man früher für ein chemisches Individuum hielt und der bekanntlich durch Kneten des Getreidemehls mit Wasser (bis das Stärkemehl entfernt ist) erhalten wird, lässt sich mindestens in vier chemisch differente Substanzen zerlegen, die alle Proteïnstoffe sind, oder denselben ausserordentlich nahe stehen.

Wir können gleich bei diesem Beispiel bleiben und die verschiedenen Substanzen, die aus dem Kleber einer Getreideart erhalten werden können, nacheinander einer kurzen Betrachtung unterwerfen.

Das *Para-Caseïn* **) (Ritthausen) ist in Weingeist unlöslich, und auf dieser Eigenschaft, durch welche es sich von den nachher in's Auge zu fassenden Substanzen unterscheidet, beruht die Reindarstellung dieser im Kleber enthaltenen Proteïnsubstanz. Dasselbe ist ebenso in kaltem und heissem Wasser durchaus unlöslich, dagegen leicht löslich, ohne Aenderung zu erleiden, in verdünnter Kali- und Natronlauge.

Die Zusammensetzung ***) des Para-Caseïn wurde gefunden

C	H	N	O	S
51,0—51,2 %	6,7 %	16,0—16,1 %	25,1—25,4 %	0,8—1,0 %

also nicht ganz unbedeutend sauerstoffreicher, kohlen- und wasserstoffärmer als das Eiweiss.

Eine zweite in dem Kleber enthaltene Substanz ist das *Pflanzenfibrin* †)

*) Dass es für die überwinternde Pflanze oder deren Samen nützlich ist, neben stickstofffreier organischer Substanz auch Proteïnstoffe als Reservenahrung niederzulegen, beweist zum Andern, dass diese letzteren Stoffe nicht jeder Zeit und jeden Orts aus ersteren unter Beihülfe von anorganischen Stickstoffverbindungen in der Pflanze gebildet werden können.

**) Von Ritthausen auch Glutin-Caseïn genannt.

***) Jahresber. f. Chem B. 17 p. 626 u. 19. p. 716.

†) Von Ritthausen auch Glutin-Fibrin genannt.

Dasselbe ist in heissem verdünntem Alkohol ziemlich leicht löslich und wird durch fraktionirte Fällung einerseits vom unlöslichen Para-Caseïn, andererseits von den andern im Kleber enthaltenen leichtlöslichen Proteïnsubstanzen getrennt. In absolutem Alkohol ist das Pflanzenfibrin unlöslich, ebenso in kaltem und heissem Wasser; löslich ist es dagegen wie das Para-Caseïn in verdünnten alkalischen Flüssigkeiten und ausserdem in verdünnter Essigsäure.

Das Pflanzenfibrin hat die Zusammensetzung *):

C	H	N	O	S
54,3 %	7,2 %	16,9 %	20,6 %	1,0 %,

also sauerstoffärmer und stickstoffreicher als die beiden andern Proteïnsubstanzen. Die Identität dieser Substanz mit dem thierischen Fibrin ist wohl in neuerer Zeit nicht mehr behauptet **) worden, und es liegt in der That kein Grund vor, sie zu behaupten.

Als ein dritter Bestandtheil des Klebers konnte eine Proteïnsubstanz abgeschieden werden, die *Mucin* ***) genannt worden ist. Dasselbe ist noch leichter in Alkohol löslich als das Fibrin und kann nur durch starken Alkohol gefällt werden. Namentlich ist dasselbe auch in kaltem verdünntem Alkohol ziemlich leicht löslich, während das Fibrin beim Erkalten aus der alkoholischen Lösung ausfällt. In verdünnten Säuren und Alkalien ist das Mucin leicht löslich. In kaltem Wasser und noch mehr in heissem vertheilt sich dasselbe, ohne sich eigentlich zu lösen, zu einer schleimigen Flüssigkeit, die erst nach längerem Stehen die suspendirten Mucintheilchen wieder fallen lässt.

Die Zusammensetzung †) des Mucin wurde im Mittel gefunden:

C	H	N	O	S
53,6—54,1 %	6,8—6,9 %	16,6—16,8 %	21,3—21,5 %	0,5—0,9 %.

Dieselbe steht also ungefähr in der Mitte zwischen der des Pflanzenfibrin und des Pflanzeneiweiss'.

Schliesslich wurde noch eine vierte Substanz aus dem Kleber abgeschieden, der *Pflanzenleim* ††). Diese Substanz ist von den seither genannten am Löslichsten in Alkohol, löst sich selbst in sehr concentrirtem und wird mittelst dieser Eigenschaft von den drei eben behandelten Körpern getrennt.

Die Eigenschaften des Pflanzenleims sind denen des thierischen Leims genau analog. Derselbe ist in kaltem Wasser beinahe unlöslich, in heissem leichtlöslich.

Seine Zusammensetzung †††) ist im Durchschnitt mehrerer Analysen

C	H	N	O	S
52,6 %	7,0 %	18,1 %	20,5 %	0,85 %,

*) Jahresber. f. Chem. 17 p. 627.

**) Vergl. übrigens J. Liebig: Die organische Chemie in ihrer Anw. auf Phys. etc. 1842. p. 49.

***) Mucedin (Ritthausen).

†) Jahresber. f. Chem. 17. p. 628. u. 19. p. 718.

††) Glialdin (Ritthausen).

†††) Jahresber. f. Chem. 16. p. 618.

also namentlich weit stickstoffreicher als die andern Proteïnsubstanzen. Im thierischen Leim hat man ungefähr ebensoviel, nemlich 18,3 % Stickstoff gefunden. Beim Befeuchten des Pflanzenleims mit Wasser, wobei er in der (vom thierischen Leime her) bekannten Weise aufquillt, zeigt derselbe auch den jenem so eigenthümlichen Geruch.

Der Leim, der thierische sowohl wie der vegetabilische, wird gewöhnlich nur als eine Art Anhängsel zu den Proteïnsubstanzen betrachtet, und hieran ist wohl vorzugsweise sein etwas abweichendes Verhalten als Nährstoff der höheren Thierwelt Schuld. Lange Zeit wollte man demselben gar keine Nährfähigkeit *) zugestehen, und auch jetzt, obgleich man einräumen musste, dass die leimartigen Substanzen unter gewissen Umständen die eigentlichen Proteïnstoffe in ihren Funktionen zu vertreten fähig sind, wird doch in so fern noch eine gewisse Ungleichwerthigkeit diesen verschiedenen Substanzen zugeschrieben, als aus jenen erstgenannten nur das sogenannte „Vorraths-Eiweiss" oder „circulirende Eiweiss" (wie man es in neuerer Zeit nennt), nicht aber das „Organ-Eiweiss" des thierischen Körpers soll gebildet werden können. **)

In diesem abweichenden Verhalten der leimartigen Substanzen im thierischen Stoffwechsel ist wohl der Hauptgrund zu suchen, dass man dieselben nicht ganz strenge zu den Proteïnstoffen rechnet, denn die Zusammensetzung jener Substanzen ist von der der eigentlichen Proteïnstoffe kaum abweichender, als die Zusammensetzung dieser unter sich, wenn auch der Stickstoffgehalt in dem Thier- und Pflanzenleime ein Maximum erreicht, das von den eigentlichen (im engern Sinne sogenannten) Proteïnsubstanzen nicht erreicht wird; und auch die Verschiedenheit in den Reaktionen — der Leim gibt die vorhin erwähnte Rothfärbung mit salpetrige Säure-haltendem salpetersaurem Quecksilberoxyd und jene andere mit Zucker und Schwefelsäure nur unvollkommen — ist nicht tiefgreifend genug, um auf Grund derselben eine Trennung zu rechtfertigen.

Was nun die Rolle des Pflanzenleims in dem vegetabilischen Organismus betrifft, so ist keinerlei Anzeige dafür vorhanden, dass dieselbe eine von der der übrigen Proteïnstoffe abweichende ist. Es sind keinerlei Thatsachen bekannt, die darauf hindeuteten, dass der im Kleber neben Fibrin, Para-Caseïn und Mucin enthaltene Leim nicht auch, wenn diese Reservestoffe bei der Keimung des Samens nutzbar werden und sich in protoplasmatisches Eiweiss verwandeln, auf dieselbe Weise seine Verwerthung finden könne, und wenn wir auch zugestehen müssen, dass wir zur Fällung eines endgiltigen Urtheils über diesen Gegenstand noch viel zu wenig Fakta in Händen haben, so wäre doch die gegentheilige Annahme vorerst durchaus ungerechtfertigt.

In den Pflanzen findet sich nun aber ausser den im Kleber der Getreidekörner enthaltenen mindestens noch *eine* andere Proteïnsubstanz, die gleich diesen als ein Reservestoff aufzufassen ist. Dieselbe kommt in ihren Eigenschaften dem Para-Caseïn am Nächsten, unterscheidet sich jedoch in einigen Reaktionen von demselben.

*) Vergl. J. Liebig: A. a. O. p. 99.

**) Vergl. die Untersuchungen C. Voit's: Zeitschrift für Biologie.

Es ist dies das *Legumin,* früher auch nach Liebig's Vorgang *Pflanzen-Caseïn* genannt, zu einer Zeit, wo er zum Vortheil einer neuen Lehre von der thierischen Ernährung die völlige Identität der vegetabilischen und thierischen Eiweissstoffe wahrscheinlich zu machen suchte.

Das Legumin ist noch nicht Gegenstand solcher exakter Bearbeitungen geworden, wie sie die Proteïnstoffe des Klebers erfahren haben, und daher differiren die Angaben über dessen Zusammensetzung noch weit erheblicher, als die über den Gehalt jener Stoffe an einzelnen Elementarbestandtheilen.

Die verschiedenen Angaben lauten, je nach der Darstellungsweise der analysirten Substanz:

C	H	N	O	S
50,5—54,0 %	6,6—7,4 %	15,8—18,5 %	22,2—25,1 %	0,5—0,8 %

Die Abweichungen der einzelnen Analysen sind so bedeutend, dass man vielleicht annehmen darf, dass verschiedene Proteïnsubstanzen als Legumin analysirt worden sind.

Das Legumin ist nun, wie dies der Name andeutet, der Hauptproteïnstoff der Leguminosen; derselbe ist namentlich in Erbsen, Bohnen und Linsen in grosser Menge vorhanden, er bildet dort jedenfalls die Hauptmenge der daselbst niedergelegten Reserveproteïnstoffe. Es gelingt jedoch auch, denselben Stoff aus Theilen anderer Pflanzen, wie z. B. aus den Kernen des Steinobstes, der Mandeln etc. zu gewinnen, doch müssen nähere Untersuchungen entscheiden, ob man es in all' diesen Fällen wirklich mit einer und derselben chemischen Verbindung zu thun hat.

Das Legumin nun ist in Wasser löslich, wie das thierische Caseïn, und wird z. B. aus den Hülsenfrüchten durch Einweichen derselben in warmem Wasser und einige weitere Manipulationen gewonnen. Dasselbe gerinnt auch, wie aus diesem Verfahren hervorgeht, nicht in der Hitze, sondern die warmen Lösungen setzen nur an der Oberfläche der Flüssigkeit, ähnlich der Milch, Häute ab. Durch Zusatz von Essigsäure und ebenso von Alkohol, nach einer Angabe auch durch Lab (Dumas u. Cahours) gerinnt dagegen die wässerige Leguminlösung. Es liegen eine Reihe von Angaben vor — und dies ist hier zu erwähnen nöthig — deren Berücksichtigung wir bis dahin unterlassen haben, nach welchen die verschiedenen Proteïnstoffe noch andere constituirende Elemente in sich enthalten ausser den genannten fünf. So wird für eine Reihe derselben, wie z. B. für das zuletzt behandelte Legumin ein Gehalt an *Phosphor* (1,0 %) als charakteristisch angesehen, und ebenso scheinen manche derselben mit Nothwendigkeit gewisse andere Aschenbestandtheile *) besitzen zu müssen, um die gerade für sie charakteristischen Eigenschaften beibehalten zu können. — Wir übergehen aber diese Thatsachen, da sie für die vegetabilischen Proteïnstoffe noch nicht sorgfältig genug gesammelt sind, und in den unzureichenden Angaben, wie sie vorliegen, nur Verwirrung anrichten würden, mit Stillschweigen.

Weitere Proteïnstoffe als die eben abgehandelten sind in der Pflanze bis jetzt nicht aufgefunden oder mit Sicherheit unterschieden worden, und wir haben daher

*) Für das aus thierischem Eiweiss darstellbare Kali-Albuminat, das identisch ist mit dem Caseïn der Milch, ist dieser Sachverhalt mit Sicherheit erwiesen. Vergl. W. Kühne: Physiol. Chem. p. 175 u. 176.

in der Gruppe der physiologisch unthätigen Proteïnstoffe nur die fünf eben behandelten zu verzeichnen: Das Legumin, das diesem nahestehende Para-Caseïn, dann das Pflanzen-Fibrin, -Mucin und den Pflanzenleim.

Wenn wir uns das Verhalten dieser verschiedenen Substanzen und das des Pflanzen-Eiweiss gegen die gewöhnlichsten Lösungs- und Fällungs-Mittel nochmals in das Gedächtniss zurückrufen wollen, so mag hierzu beifolgende Tabelle dienen, die eine Zusammenstellung solcher Reaktionen, so gut sie nach den bis dahin vorliegenden Angaben ausgeführt werden kann, enthält.

		Wasser		Alkohol		verdünnte Kalilauge	verdünnte Essigsäure	Lab.
		kalt	heiss	wässrig	hochprocentig			
	Albumin	lösl.	coagulirt	unlösl.	unlösl.	lösl.	lösl.	keine Fällung
Reservestoffe.	**Legumin**	lösl.	lösl.	unlösl.	unlösl.	lösl.	Fällung	Fällung?
Reservestoffe.	**Para-Caseïn**	unlösl.	unlösl.	unlösl.	unlösl.	lösl.	lösl.	unbekannt
Reservestoffe.	**Fibrin**	unlösl.	unlösl.	schwerl.	unlösl.	lösl.	lösl.	—
Reservestoffe.	**Mucin**	vertheilb. zu einer schleimig. Flüssigkeit	vertheilb zu einer schleimig. Flüssigkeit	lösl.	unlösl.	lösl.	lösl.	—
Reservestoffe.	**Leim**	quellbar	lösl.	lösl.	lösl.	lösl.	lösl.	—

Es geht schon aus den früher gemachten Angaben hervor, dass diese Reaktionen, durch welche die einzelnen Proteïnkörper sich von einander unterscheiden, nicht etwa so scharf sind, dass es auf sie hin möglich wäre, die einzelnen Substanzen, wo sie in den Pflanzen gemischt mit einander vorkommen, durch eine einmalige Operation schon völlig zu trennen. Es ist wegen der geringen Schärfe dieser Trennungsmethoden zur Zeit durchaus unthunlich, in irgend einem Pflanzentheil den Gehalt an den einzelnen Proteïnstoffen festzustellen, und derselbe Uebelstand verhindert auch die Möglichkeit einer quantitativen Scheidung zwischen Proteïnstoffen und andern organischen Substanzen.

Dennoch findet man in den Analysen von Pflanzen und Pflanzentheilen (Futtermitteln und dergleichen) stets einen Gehalt an Proteïnstoffen angegeben, und es ist durchaus nothwendig, dass ich den Weg mittheile, auf dem diese Angaben gewonnen sind. Derselbe ist nur möglich einzuschlagen, weil in den Pflanzen andere stickstoffhaltige Stoffe als die Proteïnstoffe nur in ganz zurücktretender Menge vorhanden sind. Wir werden gleich nachher sehen, dass es kaum noch einige nennenswerthe

Körpergruppen von stickstoffhaltigen organischen Substanzen gibt, die in dem Pflanzenorganismus mit einiger Regelmässigkeit gefunden werden, und besonders zu diesem Zwecke ausgeführte Analysen lehren andererseits, dass anorganische stickstoffhaltige Stoffe wie Ammoniak und Salpetersäure *) wie es scheint, nach ihrem Eintritt in die Pflanze so rasch verarbeitet werden zu stickstoffhaltigen organischen Substanzen — oder, wie wir jetzt sagen können, zu Proteïnstoffen —, dass meistens nur sehr geringe und gegen den Gehalt an diesen letztern beinahe **) verschwindende Mengen von Stickstoff im vegetabilischen Organismus existiren, die nicht auf Kosten von diesen Proteïnstoffen gesetzt werden könnten.

Wir haben dann ferner ja gerade vorhin erwähnt, dass der Stickstoffgehalt der verschiedenartigen Proteïnsubstanzen annähernd einander gleich ist, nemlich in den von uns berücksichtigten Angaben nur schwankt zwischen 15,6—18,5 %. So ist es denn möglich, *annähernd* genau den Gehalt einer Pflanzensubstanz an Proteïnstoffen durch eine einfache Stickstoffbestimmung festzustellen, und Dies ist in der That die Methode, deren man sich zur Bestimmung dieser wichtigen Substanzen allein bedienen konnte und bis jetzt bedient hat; — und es ist nach der mitgetheilten Sachlage auch vorerst keine Aussicht dazu vorhanden, eine bessere Methode an die Stelle dieser zu setzen.

Man hat dabei den Stickstoffgehalt der verschiedenen Proteïnstoffe auf 16 % angenommen und unter dieser Voraussetzung die Zahl des gefundenen Stickstoffs mit 6,25 multiplicirt, um die für die Proteïnstoffe geltende Zahl zu erhalten. Da wir aber nach den neueren Untersuchungen berechtigt sind, den durchschnittlichen Stickstoffgehalt der in Rede stehenden Stoffe etwas höher, vielleicht am Zutreffendsten = 17 % anzunehmen, so wird auch jener Factor einmal einer Aenderung, zu der aus praktischen Gründen ein allgemeines Uebereinkommen nothwendig ist, unterzogen werden müssen. Am Richtigsten würde derselbe festgesetzt werden (entsprechend 17 %) = 5,88, zieht man nicht am Ende gar vor, für verschiedene Pflanzentheile, je nachdem in ihm vorzugsweise lösliches Eiweiss, oder Pflanzenleim oder irgend eine andere Proteïnsubstanz vorausgesetzt werden darf, verschiedene Faktoren **) zu wählen.

In einer noch unzureichend aufgeklärten Beziehung zu den eigentlichen Proteïnstoffen stehen einige aus diesen in gewissen Vegetationsstadien sich entwickelnde stickstoffhaltige organische Stoffe wenig studirter Zusammensetzung, welche die Eigenschaften sogenannter Fermente, d. h. die Fähigkeit besitzen, chemische Veränderungen anderer Stoffe zu bedingen, ohne sich in erheblichem Grade an der Reaktion durch eigene Veränderung zu betheiligen. Das Wichtigste, was man von diesen

---

*) Frühling u. Grouven: Landw. Versuchsstat. B. VIII. p. 471. B. IX. p. 9 und 150.

**) Der Salpetersäuregehalt der Rübenblätter, des Kartoffelkrauts, des Mais und der Gerste war freilich in manchen Perioden nicht mehr als verschwindend zu bezeichnen. Vergleiche ebenda B. IX. p. 153.

***) Für die Praxis der Fütterungschemie wäre natürlich ein derartiges Verfahren vorerst nicht zu empfehlen, da sich möglicher Weise die physiologische Gleichwerthigkeit der verschiedenen Stoffe auf einen gleichen Stickstoffgehalt bezieht.

Stoffen und deren Funktionen in der Pflanze weiss, soll hier in Kürze Mittheilung finden.

Einer derselben:

Das *Emulsin* oder die *Synaptase* wird häufig noch als zu den Proteïnstoffen *) selbst gehörig betrachtet, obgleich dasselbe nach den vorliegenden Analysen eine ganz andere Zusammensetzung hat (42,9 % Kohlenstoff, 11,5 % Stickstoff), als jenen zukommt. Diese Substanz wird in den Mandeln gefunden und durch Extraktion derselben mit Wasser und Fällen durch Alkohol gewonnen; sie hat die eigenthümliche Fähigkeit, eine Reihe von Glucosiden, wie z. B. das Amygdalin, das Salicin zu der früher erwähnten Spaltung, deren diese Stoffe fähig sind, zu veranlassen. Das Amgydalin zerfällt bei diesem Process in Bittermandelöl, Blausäure und Zucker, das Salicin in Saligenin und Zucker. Das Emulsin verliert aber — und Dies ist eine Eigenschaft aller derartiger chemischer Fermente — diese eigenthümliche Fähigkeit durch Erhitzen auf den Siedepunkt.

Wahrscheinlich hat das Emulsin durch diese Fermentwirkung eine hohe physiologische Bedeutung bei dem Auskeimen der Mandeln und anderer Samen von ähnlicher Beschaffenheit, indem das Amygdalin durch Abspaltung von Zucker den jungen Keim mit organischer Nahrung versorgt. Auf diese Möglichkeit, die für die Glucoside zu bestehen scheint, unter Umständen mit einem Theil ihrer Substanz wieder als brauchbares Glied in den vegetabilischen Stoffwechsel einzutreten, bezog sich hauptsächlich eine früher gemachte Bemerkung **), dass diese Verbindungen nicht als verloren für die Weiterentwickelung der Pflanze, sondern unter Umständen als Reservestoffe derselben anzusehen seien.

Von noch grösserer Wichtigkeit ist aber jedenfalls die *Diastase*, die leider ihrem chemischen Verhalten nach noch weniger bekannt ist, als der ebenerwähnte Körper. Dieselbe bildet sich vornehmlich beim Keimen der Getreidesamen, in grösster Menge in der keimenden Gerste. Wenn man das sogenannte Malz, das Nichts Anderes ist als gekeimte Gerste, mit Wasser extrahirt, den concentrirten Extrakt durch starken Alkohol fällt, also durch ein der Gewinnung des Emulsins ganz analoges Verfahren, so erhält man einen wieder leicht in Wasser löslichen Körper, dem äussern Ansehen nach von sehr wenig charakteristischen Eigenschaften, dem die eigenthümliche Wirkung zukommt, schon in sehr kleinen Mengen und ohne, wie es scheint, selbst eine Veränderung zu erleiden, Stärkemehl in Zucker (Glycose) zu verwandeln ***), also genau wie das Emulsin, bei seiner Wirkung auf die Glucoside,

*) Vergl. Limpricht: Org. Chem. 1862. p. 1255.

**) Siehe die neunte Vorlesung.

***) Es ist eine durchaus nicht zu rechtfertigende Verallgemeinerungssucht der neuesten Zeit, alle fermentartigen Wirkungen auf die Thätigkeit niedriger Organismen zurückzuführen, der indessen auch kürzlich die merkwürdige Umwandlung, welche die Diastase bewirkt, zum Opfer gefallen ist. (Vergl. E. Hallier: Gährungserscheinungen 1867 p. 28 u. f.) Man verfällt mit derartigen Folgerungen, durch unzeitige Anwendung der deduktiven Methode, genau in denselben Fehler, der früher unter Liebig's Führung zur entgegengesetzten Verallgemeinerung geführt hat (vergl. Liebig: Die org. Chemie in ihrer Anw. auf Agrikultur etc. 1840. p. 199—345). Ich hatte schon früher einmal Gelegenheit, auf diese

Addition von Wasser zu bewirken, genau wie jenes, Stoffe aus dem ruhenden Zustand in die bildsame Masse der Glycose zu verwandeln. Auch diese Fähigkeit, die der chemisch noch unbekannten, aber jedenfalls stickstoffhaltigen und bei der Keimung aus irgend einer Proteïnsubstanz des Klebers sich bildenden Diastase zukommt, ist zwar bei ziemlich hoher Temperatur (75° C) noch möglich und scheint sogar bei dieser sich mit dem grössten Erfolge geltend zu machen, wird aber durch ein noch weiteres Erhitzen bis gegen den Siedpunkt ein für allemal vernichtet.

Bei dieser nachgewiesener Massen in hohem Grade existirenden Befähigung der Diastase, ausserhalb des Organismus der Pflanze Stärkemehl in Zucker zu verwandeln, müssen wir dieser Substanz dieselbe Befähigung unfehlbar auch innerhalb dieses Organismus zuschreiben, und es erscheint so die Annahme gestattet, dass derselben die hervorragende physiologische Funktion zukomme, *die organischen Reservestoffe* theilweise *in die Form überzuführen, in der sie im Protoplasma löslich sind* und als welche sie direkt zu den Neubildungen, Ablagerung von Zellhaut u. s. w. Verwendung finden kann. Es ist freilich nur noch für verhältnissmässig wenige Samen (also für verhältnissmässig wenig Reservestoffbehälter, deren Reservestoffe im Begriffe sind, die ruhende Form zu verlassen) gelungen, die Anwesenheit ähnlicher Substanzen nachzuweisen, allein vielleicht blos desshalb nicht, weil man nicht eifrig genug nach ihnen gesucht hat. Verdanken wir ja doch eigentlich die freilich nur oberflächliche Bekanntschaft mit der Diastase lediglich dem Umstand, dass der Process, den sie vollzieht, frühzeitig technisch ausgebeutet wurde. Es ist also sehr wahrscheinlich, dass wir in früherer oder späterer Zeit noch ähnlich wirkende fermentartige Stoffe in den Pflanzen *) **) entdecken, oder die bis jetzt gekannten derartigen Stoffe in weit grösserer Verbreitung, als wir bis jetzt vermuthen, auffinden werden.

Alle diese fermentartigen Stoffe stehen, wie gesagt, zu den Proteïnstoffen in durchaus inniger Beziehung, selbst den nur durch Fäulniss veränderten Bestandtheilen des Klebers ***) werden ganz ähnliche Wirkungen zugeschrieben wie die der Diastase, und es ist somit nicht der charakteristische Stickstoffgehalt der Fermentkörper allein, der sie als Abkömmlinge der Proteïnsubstanzen ausweist.

Weiteres von Interesse wäre über die merkwürdigen Substanzen nicht mitzutheilen. Noch ein anderer Stoff, dem zwar keine Fermentwirkungen zuzukommen

Gefahr der auf diesem Gebiete Mode gewordenen Verallgemeinerungssucht hinzuweisen. (Vergl. Zeitschr. f. Biologie. B. V. p. 318).

*) Hier ist das noch wenig studirte Myrosin, das im weissen Senfsamen vorkommen soll, zu erwähnen; siehe Limpricht: Org. Chemie. 1862. p. 447 u 1256.

**) Wenn die fermentartige Beschaffenheit eines Stoffs und seine Fähigkeit Wasserstoffsuperoxyd zu zersetzen, wie dies Schönbein annimmt, immer Hand in Hand geht. so sind fermentartige Substanzen in jedem Pflanzensamen, der bis jetzt darauf untersucht worden ist, vorhanden, ebenso sind dieselben in Pilzen (auch der Bierhefe) und in Algen stets vorhanden (vergl. Schönbein: Zeitschrift für Biologie. B. IV. p. 369), und sie können unter allen Umständen durch Erhitzen auf den Siedpunkt ihrer specifischen Eigenschaften beraubt werden. Ueber denselben Gegenstand vergleiche auch: Schaer: Das Wasserstoffsuperoxyd etc. 1869. p. 36—38 u. p. 43—54.

***) Vergl. Limpricht: Org. Chemie 1862. p. 591.

scheinen, der aber auch zu den Proteïnstoffen in einer ähnlichen genetischen Beziehung zu stehen scheint, wie die eben erwähnten Substanzen, ist das *Asparagin*, dessen chemische Natur wohl erkannt ist, und in der Chemie als Malamid, als Amid der Aepfelsäure $\left.\begin{matrix} C_4H_4O_3 \\ H_4 \end{matrix}\right\} N_2 + H_2O$ bezeichnet wird. Dieser Stoff kommt namentlich in den jungen Sprossen der Spargel, in den Blättern und Stengeln der Wicken vor, um nach einiger Zeit zu verschwinden. Ueber die Funktionen dieses Stoffs ist Nichts bekannt.

Es bleiben nun nur noch sehr wenige stickstoffhaltige organische Stoffe, die im pflanzlichen Organismus eine Rolle spielen, zu betrachten übrig.

Es gibt — und darauf ist schon gelegentlich hingedeutet worden — einige stickstoffhaltige Bitter- und Farbstoffe, die hie und da in den Vegetabilien angetroffen werden. Z. Th. haben sich dieselben als Glucoside ausgewiesen, und diese unterscheiden sich dann einfach von den stickstofffreien Glucosiden dadurch, dass das Spaltungsprodukt, das neben Zucker (Glycose) aus ihnen entsteht, ein stickstoffhaltiger Körper ist; für andere ist einige Aussicht vorhanden, dass sie sich später als solche Glucoside ausweisen werden.

Denjenigen dieser Körper, welche Zucker abzuspalten vermögen, also wirkliche Glucoside sind, kommt offenbar, wie wir erwähnt haben, eine den stickstofflosen Reservestoffen ähnliche Rolle zu. Eine solche Funktion hat wenigstens für das Amygdalin mit Wahrscheinlichkeit festgestellt werden können, indem das langsame Verschwinden dieses Stoffes in vegetirenden jungen Trieben nachgewiesen wurde. *)

Einige Worte mehr erheischt eine weitere Gruppe von stickstoffhaltigen Körpern, die in manchen Pflanzen in grosser Menge erzeugt werden und ihrer hervorragenden Eigenschaften wegen viele Aufmerksamkeit erregt haben, ich meine die *Pflanzen-Alkaloïde.* **) Es sind dies stickstoffhaltige organische Stoffe, sauerstofffrei oder von grosser Sauerstoffarmuth und ziemlich verschiedener Zusammensetzung, die, wie ihr Name andeutet, basische Eigenschaften in bedeutendem Masse besitzen.

Diese stickstoffhaltigen Körper von basischen Eigenschaften finden sich indessen nur in einer beschränkten Anzahl von Pflanzen; die meisten Pflanzen scheinen während ihres ganzen Lebens völlig frei von in diese Klasse gehörigen Verbindungen zu sein; und aus diesem Sachverhalt geht schon hervor, dass diese Alkaloïde keine wichtige und allgemeinere physiologische Funktionen zu vollziehen haben, und dass ihr Auftreten auch nicht mit solchen in Beziehung steht. Es sind besonders einige Arten der Familien***) der *Euphorbiaceen, Ranunculaceen, Solaneen, Papaveraceen, Colchiceen* und *Cinchoneen,* die diese Substanzen in sich erzeugen.

Die *Pflanzenalkaloïde* sind theils, wie das bekannte *Nicotin* unzersetzt flüch-

*) Untersuchungen von Wirke (vergl. Rochleder: Phytochemie 1854. p. 321).

**) Nicht alle Alkaloïde kommen in Pflanzen (oder Organismen) vorgebildet vor. Manche derselben sind bis jetzt nur auf künstlichem Wege dargestellt worden u. umgekehrt.

***) Die meisten Pflanzenfamilien, so die sehr verbreiteten Familien der Labiaten und Compositen scheinen ganz frei von Alkaloïden zu sein. Vergl. A. u. T. Husemann: Die Pflanzenstoffe etc. 1870. p. 21.

tig und werden dann aus den zerkleinerten Pflanzentheilen durch Ausziehen mit angesäuertem Wasser und Destillation dieses Extrakts über Kali gewonnen; oder diese Stoffe sind, wie *Strychnin* und *Chinin* nicht unzersetzt zu destilliren, und in diesem Falle werden dieselben in der Regel aus dem Extrakte durch ein Alkali gefällt, da die Alkaloïde meistens für sich in Wasser unlöslich sind.

Die nicht flüchtigen Pflanzenalkaloïde sind krystallisirbar, schmecken bitter und sind von sehr heftiger Einwirkung auf den thierischen Organismus, sie sind fast alle heftige Gifte für diesen, und diese letzteren Eigenschaften scheinen auch allen flüchtigen zuzukommen. Die Alkaloïde haben ferner die Eigenschaft, die Polarisationsebene des Lichts nach Rechts oder nach Links abzulenken.

Von den sauerstofffreien Alkaloïden will ich nur das bekannte in dem Tabak enthaltene und diesem theilweise seine narkotischen *) Eigenschaften ertheilende Nicotin ($C_{10}H_{14}N_2$) anführen. Dieses Alkaloïd ist ein farbloses Oel von höchst giftigen Eigenschaften, das bei 250° C. siedet.

Die sauerstoffhaltigen Alkaloïde sind viel verbreiteter als die ersteren. Ich erwähne das Chinin ($C_{20}H_{24}N_2O_2$), eines der Alkaloide aus der sogenannten Chinarinde und bekanntes Heilmittel, das Morphin ($C_{17}H_{19}NO_3$), das Haupt-Alkaloid des Milchsafts der Samenschalen des weissen Mohns, das Strychnin ($C_{21}H_{22}N_2O_2$) in den Früchten der Strychnos nux vomica, den sogenannten Krähenaugen, beide Arzneimittel und furchtbare Gifte, und schliesslich das Caffeïn ($C_8H_{10}N_4O_2$), das Alkaloid, an dessen regelmässigen Genuss sich das sündige Geschlecht der Neuzeit gewöhnt hat, im Kaffee und Thee.

Dies letztere bringt im thierischen Organismus eine gewisse Erregung u. beim Menschen eine grössere Befähigung zu manchen, namentlich geistigen Arbeiten hervor. Dass es den Stoffwechsel verlangsame, ist eines der Mährchen, das längst widerlegt (Voit), sich dennoch fort und forterbt **), und das seine Entstehung dem Bestreben verdankt, jene beliebten Getränke zur Beruhigung des eignen Gewissens von der Liste der *Luxus-Genussmittel*, wozu sie nach jener engherzigen Begrenzung des absolut zum Leben Nothwendigen gehören, herabzusetzen.

Ein näheres Eingehen auf das Vorkommen und die Eigenschaften der Alkaloïde würde bei unserer völligen Unwissenheit über deren Entstehung in den Pflanzen und bei der scheinbaren Regellosigkeit ihrer Vertheilung über die einzelnen Pflanzenfamilien, ebensowenig Nutzen für unsern Zweck haben, als die eingehendere Behandlung derjenigen stickstofffreien organischen Stoffe, denen wir keine hervorragende physiologische Funktion ***) zuerkennen konnten.

*) Nessler gibt zwar an, betäubend wirkenden Tabak untersucht und kein Nicotin in demselben gefunden zu haben (siehe J. Nessler: Der Tabak etc. 1867. Tafel I ad p. 11). Diese Thatsache steht indessen zu vereinzelt da, um die alte Theorie des Rauchens völlig umzustossen.

**) Siehe Heiden: Lehrbuch der Düngerlehre. B. I. p. 17 u. an vielen andern Orten.

***) Für die Alkaloïde erhellt diese verhältnissmässige Unwichtigheit ihrer Anwesenheit für den Pflanzenorganismus, in dem sie Entstehung nehmen, vielleicht am Besten daraus, dass tropische im normalen Zustande Alkaloïde-erzeugende Gewächse, wie z. B. die Cinchona-Arten in unsern lichtschwachen Gewächshäusern fast ganz aufhören, Chinin etc.

Der hiemit vollendete kurze Ueberblick über die stickstoffhaltigen organischen Körper des Pflanzenleibes genügt, um zu zeigen, was wir im Anfang dieser Betrachtung ausgesprochen haben, dass es die sog. Proteïnstoffe beinahe allein sind, die von den stickstoffhaltigen organischen Stoffen in der Pflanze eine tiefgreifende physiologische Bedeutung haben, und dass wir *die Unentbehrlichkeit stickstoffhaltiger assimilirbarer Nahrung für die sich weiter entwickelnde Pflanze* fast lediglich auf *die Unentbehrlichkeit dieser Stoffgruppe zurückzuführen* berechtigt sind. Freilich müssen als stickstoffhaltige organische Stoffe von hervorragender Bedeutung für den Haushalt der Pflanze auch die fermentartigen Substanzen genannt werden; allein diese stehen wenigstens ihrer Entstehung nach zu den eigentlichen Proteïnstoffen in naher Beziehung und sind insofern nach jener Ausdrucksweise schon mit inbegriffen.

So wie wir an unsere Betrachtungen über die Erzeugung organischer Substanz schlechtweg eine Betrachtung über die Wanderung dieser organischen Substanz durch den Pflanzenkörper von den Orten ihrer Entstehung zu den Orten ihrer Verwendung angeknüpft haben, so wird es hier unsere Aufgabe sein, jene Betrachtung auf das Gebiet der stickstoffhaltigen organischen Substanz auszudehnen.

Wenn wir uns zunächst überlegen, in wiefern eine solche Wanderung der stickstoffhaltigen organischen Körper für die Pflanze nützlich sein kann, und uns dabei selbstverständlich beschränken auf diejenigen organischen Stickstoffverbindungen, die ganz allgemein Bestandtheile des pflanzlichen Organismus sind, und für die wir bereits einige physiologische Funktionen, welche sie für diesen Organismus unentbehrlich machen, erkannt haben, so kommen wir zunächst zu dem Resultate — da der Annahme einer Erzeugung von Proteïnstoffen aus Kohlehydraten und stickstoffhaltigen anorganischen Stoffen unter Kohlensäureabspaltung an einem beliebigen Orte, wie wir früher gesehen haben, theoretisch Nichts im Wege steht —, dass wir die Zweckmässigkeit eines solchen Transports von vorneherein nicht einzusehen vermögen, denn offenbar könnte eine blosse Wanderung des Bildungsmaterials dieser Stoffe demselben Zwecke entsprechen.

Dennoch ist eine solche Wanderung für eine grosse Reihe unserer höheren Gewächse thatsächlich nachgewiesen. Vermuthlich ist also doch eine gewisse Vorrichtung, wie sie nicht in allen Gewebetheilen einer Pflanze vorhanden ist, zu jener Bildung der Proteïnstoffe erforderlich. Dafür spricht ja schon die offenbare gänzliche Unfähigkeit aller thierischen (wahrscheinlich auch der niedrigsten) Organismen, eiweissartige Stoffe aus dem bezeichneten Material zu erzeugen.

Kurz der Transport eiweissartiger Verbindungen in den höheren Pflanzen scheint aus irgend einem uns unbekannten Grunde zweckmässig zu sein, denn er findet statt.

In Bezug auf die Wanderung dieser Stoffe besteht aber hinsichtlich der leiten-

zu produciren, ohne dass hierunter andere Funktionen der Pflanze sehr wesentlich leiden. Ganz sicher festgestellt ist der analoge Sachverhalt auch für den Schierling, der bei uns Coniin erzeugt, in Schottland dagegen nicht, dort aber auch ohne diesen Stoff ganz freudig gedeiht; vergl. Rochleder: Phytochemie 1854, p. 344. Ein ähnliches Verhalten wäre für die Proteïnstoffe ja ganz undenkbar.

den Gewebeformen ein bedeutender Unterschied gegenüber der Wanderung der Kohlehydrate.

Man unterscheidet unter den Gewebeformen in der höheren Pflanze, die zweifellos der Fortleitung organischer Stoffe dienen: das *parenchymatische Gewebe* der Rinde und des Markes, welches vorzugsweise geeignet ist, die stickstofflosen organischen Körper, d. h. vor Allem Stärkemehl fortzuleiten. Der Inhalt dieses Gewebes reagirt stets sauer, von freien Pflanzensäuren oder sauren pflanzensauren Salzen und hinterlässt eine kalireiche Asche.

Man unterscheidet daneben das Gewebe der Gefässbündel als zweites Leitungsgewebe. Dasselbe besteht aus langen gestreckten Zellen und wird auch als Cambiform, Siebröhren und Gitterzellen *) bezeichnet. Der Saft dieser Gewebeform reagirt alkalisch und ist besonders reich an Phosphorsäure, die ebenso unzertrennlich in den Organismen an die eiweissartigen Stoffe gebunden ist, wie das Kali stets in Begleitung der Kohlehydrate aufzutreten scheint.

Als dritte Gewebeform hätten wir bei vielen älteren Pflanzen das Holz zu erwähnen, das eine parenchymatische Gewebeform ist, aber weniger — und wahrscheinlich nur für stickstofffreie organische Stoffe **) — als Fortleitungsgewebe, sondern mehr als Reservestoffbehälter für Ruhezeiten dient. Der Inhalt dieses Gewebes ist besonders stickstoffarm, da es weder protoplasmatischen Zellsaft besitzt, noch zur Fortleitung stickstoffhaltiger Substanzen dient.

Die Sonderung des Inhalts der beiden leitenden Gewebeformen ist natürlich auch nicht streng, da ja das Protoplasma der leitenden Parenchymzellen des Marks und der Rinde stets eiweissartige Stoffe enthält, andererseits in den Gefässbündeln vereinzelte Stärkekörner auftreten.

Vielleicht hat die Längsstreckung der für die Fortleitung der Proteïnstoffe bestimmten Gewebeform besondere Nützlichkeit für die Fortbewegung dieser Stoffe, weil dieselben nur geringe osmotische Fähigkeiten zeigen und diese massgebend sind für den Durchgang durch die Zellmembranen.

Ich muss schliesslich noch Einiges erwähnen über die Methoden, die man angewandt hat, um ins Reine zu kommen über die Fortleitungsfähigkeit einer oder der andern Gewebeform, und die z. Th. sehr sinnreich sind.

Es ist besonders Hanstein, der sich in dieser Richtung verdient gemacht hat. Derselbe entfernte an abgeschnittenen Zweigen verschiedener höherer Pflanzen ein ringförmiges Stück der Rinde, setzte dieselbe bis oberhalb der Ringelwunde unter Wasser und beobachtete die Art und Weise, wie die Neubildungen, die an lebensfähigen Zweigen unter diesen Umständen aufzutreten pflegen, entstanden. Es zeigte sich dabei, dass *alle die Pflanzenarten, bei denen innerhalb des Markes keine Gefässbündel, Gitterzellen* oder *Siebröhren* verlaufen, *keine* oder nur ganz unbedeutende *Wurzelbildungen an dem vom Ringelschnitt abwärts liegenden Stammtheil hervorbrachten,* während oberhalb des Ringelschnitts eine kräftige Bewurzelung eintrat, dass dagegen bei *denjenigen Arten, wo die bezeichneten Gewebeformen*

*) Den Funktionen dieser Gewebeform dürften sich auch die Milchsaftgefässe, die jedoch nur in einer beschränkteren Zahl von Pflanzen vorkommen, anschliessen.

**) Von Hartig durch Wegnahme der Rinde bewiesen.

im Marke nachgewiesen werden konnten, durch den Ringelschnitt die Wurzelbildung am untern Ende *nicht beeinträchtigt wurde.*

Aus diesen Versuchen durfte offenbar gefolgert werden, dass die Gefässbündel oder die stellvertretenden Gewebeformen massgebend waren für den Transport gewisser zur Wurzelbildung nothwendiger Stoffe. Hanstein ging aber weiter und machte die jedenfalls unerlaubte Folgerung, dass jene Gewebeform allein für die Zuleitung von Bildungsstoffen in Betracht komme, wogegen Sachs *) seine Stimme erhob. Dieser zeigte, dass jene Gewebeform arm sei an Stärke und wie diese gewiss durch das Parenchymgewebe, das in allen jenen Versuchen nicht ausgeschlossen war, fortgeleitet werde, wobei man allerdings nicht vergessen darf hervorzuheben, dass für diese Anschauung der positive Beweis noch fehlt.

Es dürfte sich also das Ausbleiben der Wurzelbildung in gewissen Fällen aus dem Mangel an Zuleitung von eiweissartigen Stoffen erklären, die in jenen Gewebeformen ausschliesslich ihre Fortleitung finden, denn trotz des Mangels des völlig unzweideutigen positiven Beweises hat die Sachs'sche Anschauung einen grossen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich, da die Annahme der Fortführung eines Universalsaftes in den Gitterzellen und Gefässbündeln zu allerlei Unthunlichkeiten führt.

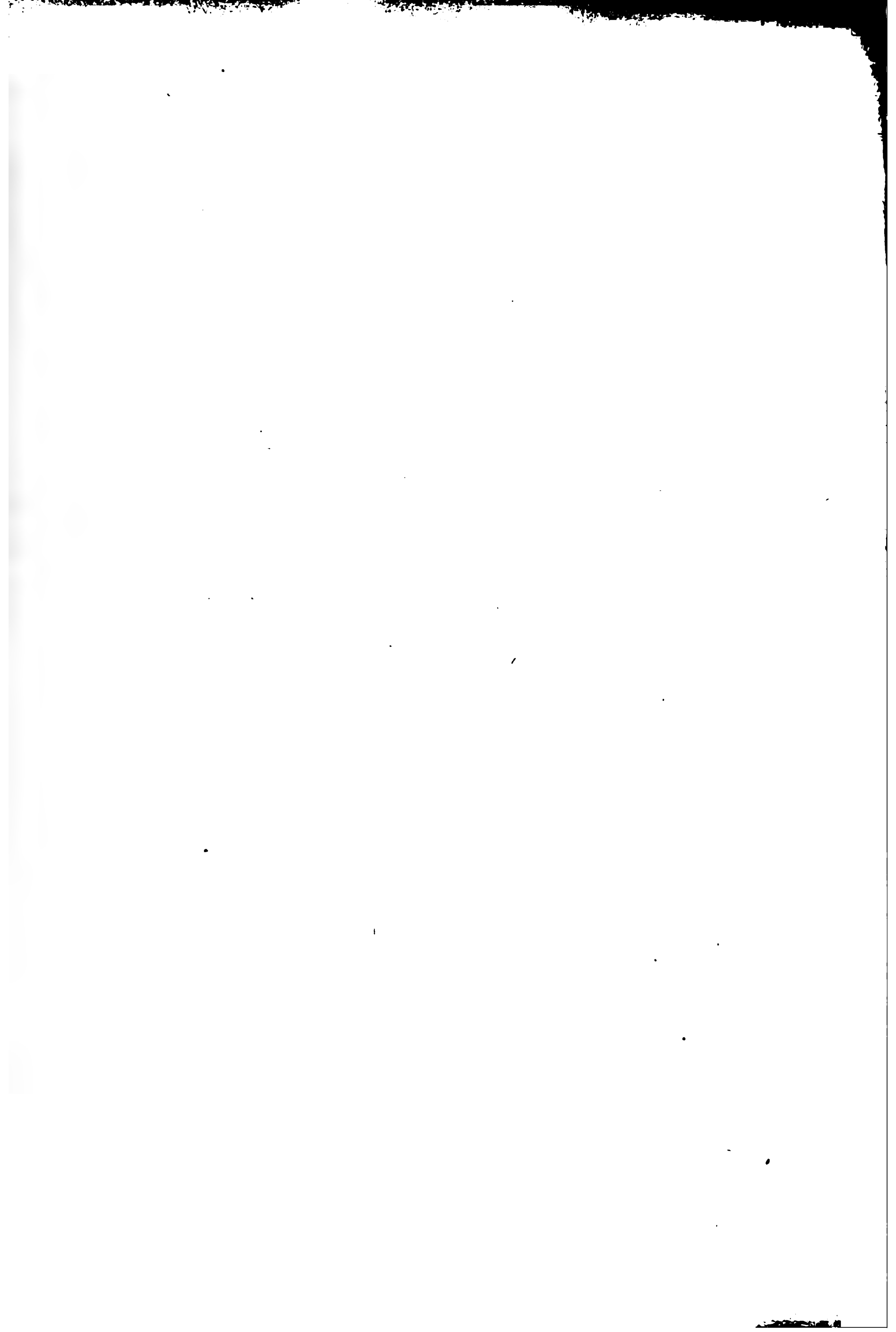
Der Inhalt der heutigen Vorlesung lässt sich kurz in folgenden Sätzen fassen:

1) Die physiologisch wichtigsten und zugleich ihrem Auftreten nach quantitativ bedeutendsten stickstoffhaltigen organischen Stoffe der Pflanze sind die eiweissartigen Stoffe oder Proteïnstoffe.
2) Dieselben kommen wie die wichtigsten stickstofffreien Substanzen, die Kohlehydrate in zwei Formen in der lebenden Pflanze vor, als Reservestoffe und als constituirende Bestandtheile des lebenskräftigen Protoplasma.
3) Die Proteïnstoffe haben in diesen beiden Formen nahezu einerlei Zusammensetzung, so dass die betreffenden Uebergänge bei der Anlegung der Reservestoffbehälter, oder beim Knospen und Auskeimen, ohne erhebliche Oxydationserscheinungen und Spaltungserscheinungen vor sich gehen kann.
4) Neben den Proteïnstoffen sind für die Pflanzen noch hauptsächlich deren Abkömmlinge, die fermentartigen Stoffe (von ungekannter Zusammensetzung) in gewissen Vegetationsstadien von hoher physiologischer Bedeutung.
5) Sonstige stickstoffhaltige organische Stoffe können von den Pflanzen im Allgemeinen entbehrt werden und haben daher jedenfalls keine durchgehende Bedeutung für dieselben.
6) Die Wanderung der stickstofffreien und stickstoffhaltigen organischen Substanzen findet in verschiedenen Gewebeformen von eigenthümlichem Bau und chemischen Eigenschaften statt.

*) Vergl. dessen Handbuch d. Experiment. Physiol. d. Pfl. p. 383—84. dem ich überhaupt die Darstellung der Stoffwanderung im Wesentlichen entnehme.

Dritter Abschnitt.

Die unverbrennlichen Bestandtheile der Pflanze.



Vierzehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandtheile der Pflanze. — Die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandtheile für die Pflanze.

Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff sind nicht die einzigen Elementarbestandtheile der Organismen, weder der thierischen noch der pflanzlichen. *Es gibt kein organisirtes Wesen* auf unserem Erdenrunde, *in dem nicht noch andere chemische Grundstoffe vertreten wären und für das sich nicht die Unentbehrlichkeit von mehreren dieser Stoffe nachweisen liesse.* Dieser in der vollsten Ausdehnung gültige Satz ist nun auch für die Organismen, mit denen wir es hier zu thun haben, für die chlorophyllgrünen Pflanzen zutreffend, und es gelingt leicht, sich auf experimentellem Wege hiervon zu überzeugen.

Wenn man einen Pflanzensamen auf einem Nährboden sich entwickeln lässt, der nur Wasser, Kohlensäure und salpetersaures Ammoniak an die junge Pflanze abzugeben vermag, also in einem von allen löslichen mineralischen Theilen befreiten Sande, in Quarzpulver oder reinem Kohlenpulver, das mit kohlensäurehaltigem, salpetersaures Ammoniak in geeigneten Mengen enthaltendem Wasser durchtränkt ist, oder auch in einer solchen Lösung selbst, so findet man unter allen Umständen, dass von einem gewissen Zeitpunkte an die Pflanze in ihrer Entwickelung stille steht, keine oder nur krüppelhafte Neubildungen hervorbringt und schliesslich eingeht. Diese durch den Versuch beliebig oft zu erneuernde Thatsache zusammengehalten mit der andern, ebenso leicht festzustellenden, dass die Ausbildung der Pflanze in völlig normaler Weise von Statten geht,*) wenn man ceteris paribus jener Lösung, in der die Pflanzenwurzel sich entwickelt, gewisse mineralische Salze zusetzt, führt uns natürlich zu dem Schluss, dass der Mangel an jenen Salzen in der Lösung an der unvollkommenen Ausbildung der Pflanze Schuld sein müsse. Und wenn wir endlich noch die weitere Thatsache berücksichtigen, dass alle Pflanzen und Pflanzentheile zu jeder Zeit und in jedem Entwickelungsstadium noch Bestandtheile in sich enthalten, deren Grundstoffe grossentheils identisch sind mit den in jenen Lösungen von guter Wirkung vorhandenen, so erscheint der weitere Schluss ein ganz selbstverständlicher, dass das Fehlen gewisser Salze in der der Pflanzenwurzel zugänglichen Lösung *desshalb* schadenbringend für die Pflanzen sei, weil dieselben zu ihrer Ausbildung gewisser, noch ausser den Elementen der organischen Substanz regelmässig in ihnen auftretender Substanzen bedürftig sind, die nothwendig von Aussen aufgenommen werden müssen.

---

*) Vorausgesetzt, dass man einige nachher zu erörternde Vorsichtsmassregeln anwendet.

Wir sehen also, dass speciell für die Pflanzen, mit denen wir es hier zu thun haben, der an die Spitze unserer heutigen Betrachtungen gestellte Satz die unabweisbare Schlussfolgerung ist aus einer Reihe von sicher feststehenden Thatsachen, die durch das beliebig zu wiederholende Experiment bis in die Unendlichkeit vervielfacht werden können, so dass wir nur wünschen könnten, eine jede andere Lehre unserer modernen Pflanzenphysiologie stände auf einer ebenso festen Grundlage.

Es handelt sich aber nun selbstredend darum, festzustellen, was dies für Substanzen sind, die (ausser den schon früher behandelten) solche integrirende Bestandtheile des Pflanzenorganismus sind, und später werden wir uns dann auch die Frage vorzulegen haben, was diese dem Pflanzenorganismus unentbehrlichen Substanzen für Funktionen in demselben zu vollziehen haben, mit andern Worten, warum sie unentbehrlich sind?

Suchen wir uns klar zu werden über die Methoden, die zur Beantwortung der ersten dieser Fragen: welche Substanzen es sind, die von einer gewissen Pflanze oder einem Pflanzenorgan nicht entbehrt werden können? einzuschlagen sind. Man wird zunächst an die einfache Analyse des betreffenden Organismus denken und so zu erfahren suchen, was ausser Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff in einem solchen an Elementarbestandtheilen enthalten ist, und vielleicht die so gefundenen Stoffe als für die Pflanze wesentlich und unentbehrlich ansehen.

Diese Methode würde in der That vollständig für den vorliegenden Zweck ausreichend sein, wenn erwiesen wäre, dass der pflanzliche Organismus, mit dem wir's zu thun haben, unfähig wäre, entbehrliche, aber zufällig ihm in den Weg kommende Stoffe zu assimiliren und in seinem Gewebe abzulagern, wenn derselbe eine Einrichtung besässe, die ihn in Stand setzte, alle für ihn unnütze Substanzen streng von der Aneignung auszuschliessen, wie etwa ein mit sehr vollkommenem Instinkt begabtes Thier nur Futterstoffe, die eine gewisse Nährfähigkeit besitzen, frisst, aber alle Substanzen, die ihm unnütz oder schädlich sind, mit Hartnäckigkeit verwirft.

Wir müssen nun an dieser Stelle schon vorausschicken, wenn wir auch später erst Gelegenheit finden werden, eine nähere Begründung dieses Sachverhalts beizubringen, dass ein solches Auswahlvermögen *) für die Pflanze auch nicht von Ferne existirt, und daraus geht hervor, dass jenes einfache Mittel, die chemische Analyse unmöglich genügen kann, zur Feststellung des *Bedarfs* der Pflanze an einzelnen Bestandtheilen. Immerhin gibt dieselbe jedoch einen werthvollen Anhaltspunkt, da man auf die Weise neben den unnützen, doch *jedenfalls auch die nothwendigen Bestandtheile* erfährt.

Wir können uns diesen Sachverhalt durch einen kleinen Versuch noch anschaulicher machen. Es befindet sich hier über der Flamme ein leerer und vollkommen reiner Platintiegel. Ich werfe diese frische grüne und von allen anhängenden Bodentheilchen vollständig befreite Pflanze in denselben. Wir können beobachten, wie die Pflanze sich bräunt, Dämpfe ausstösst, wie jetzt diese Dämpfe sich entzünden, wie sie völlig verkohlt und wie nun auch die Kohle völlig verglimmt. Diese Erscheinung kann uns nicht im Mindesten befremden. Wir wissen ja, dass die organische Sub-

*) Die Bevorzugung in der Aufnahme einzelner von den den Wurzeln zugänglichen Stoffen wird später als Etwas von einem eigentlichen Wahlvermögen Grundverschiedenes seine Erklärung finden.

stanz, ob stickstoffhaltig oder stickstofffrei, in der Hitze bei genügender Sauerstoffzufuhr sich oxydirt, verbrennt und dabei zu unsichtbaren Gasen, Kohlensäure und Wasser und etwas Ammoniak (oder freiem Stickstoff) aufgelöst wird, und dass die Pflanze (neben Wasser) der Masse nach wesentlich aus organischer Substanz besteht, haben wir in den hinter uns liegenden Vorlesungen zur Genüge kennen gelernt.

Aber der Tiegel ist nicht leer, nicht der ganze Inhalt desselben ist in die Luft verflogen. Sehen wir genauer zu, so finden wir ein Skelett von nicht flüchtigen Substanzen, also von Substanzen, die (ausser Kohlensäure) keine wesentlichen Mengen von Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff in sich enthalten können, nur Sauerstoff, gebunden an andere Elemente, auf deren Vorhandensein wir eben die Pflanze einer Prüfung unterziehen wollten.

Dieser Versuch, den wir im Grunde täglich anstellen, wenn wir ein Stück Holz in den Ofen schieben und dann beobachten, dass nicht die ganze Substanz des Holzes ein Raub der Flammen wird, sondern dass immer ein Theil derselben als nicht zu verflüchtigender Stoff durch den Rost fällt, lässt sich, wie aus dem vorhin Gesagten hervorgeht, beliebig oft und immer mit demselben Erfolge wiederholen.

Allein wir würden fehlgreifen, wollten wir nun den im Tiegel enthaltenen Rest der Pflanze, den wir als ihre Asche bezeichnen, als ihre anderweitigen unentbehrlichen Bestandtheile ansprechen, denn wiederholen wir den eben vorgenommenen Process der Einäscherung mit einer Pflanze der gleichen Art, im gleichen Entwickelungsstadium, aber von einem andern Standort, so bekommen wir zwar unfehlbar wieder einen solchen unverbrennlichen Rest im Tiegel, aber dieser Rest ist im Verhältniss zur Menge der eingeäscherten Pflanzensubstanz vielleicht grösser oder kleiner, das Verhältniss der einzelnen Aschenbestandtheile unter sich ist wahrscheinlich ein ganz anderes und einzelne Aschenbestandtheile sind nur im unverbrennlichen Theil der einen, aber nicht in dem der andern Pflanze vorhanden. Daraus folgt natürlich, dass, obgleich die Verbrennung einer Pflanze immer zu demselben Ziel, zu der Hinterlassung eines Aschenskeletts führt, doch das Resultat dieses Processes in sofern in den verschiedenen Fällen einander ganz ungleich ist, als diese Asche sich in Hinsicht auf Menge und Zusammensetzung sehr abweichend verhält. Man würde also bei Befolgung dieser Methode der Analyse durch jeden neuen Versuch möglicherweise zu einem neuen, von dem bis dahin erlangten verschiedenen Resultate in Bezug auf den Stoffbedarf gelangen — und hierdurch ist natürlich die Unbrauchbarkeit der Methode hinlänglich charakterisirt. Die Pflanze hat an den verschiedenen Orten ihres Wachsthums sehr verschiedene Stoffe im Erdreich vorgefunden, und da sie keine vollkommene Auswahl zu treffen vermag, so hat sie in jedem einzelnen Falle eine Reihe von Stoffen in sich aufgenommen, die als völlig zufällig in Bezug auf ihre Theilnahme an der Zusammensetzung des Pflanzenkörpers bezeichnet werden müssen.

Zum Beleg dieser Behauptung will ich schon hier einige Analysen anführen, die von den Aschenbestandtheilen von Individuen einer und derselben Pflanzenart, die aber auf verschiedenem Nährboden gewachsen waren, angestellt worden sind. So wurden *) in der Asche der angegebenen Pflanzen folgende Mengen von Kalk und

*) Malaguti u. Durocher: Ann. d. sc. nat. 1858. T. 9. p. 230.

von Schwefelsäure gefunden, wenn sie einmal von Kalkboden, einmal von kalkarmem Boden genommen worden waren:

	Kalk.		Schwefelsäure.	
	Kalkboden.	Nichtkalkboden.	Kalkboden.	Thonboden.
Brassica oler.	28,0 %	13,6 %	3,6 %	4,6 %
Brassica Napus.	43,6 „	19,5 „	4,2 „	7,2 „
Trifol. prat.	43,3 „	29,7 „	3,1 „	3,9 „
Trifol. incarn.	36,2 „	26,7 „	1,7 „	3,1 „
Scabiosa arv.	28,6 „	17,2 „	2,7 „	3,7 „

Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass der Gehalt an den einzelnen Aschenbestandtheilen, je nach den äussern Umständen, ein ausserordentlich verschiedener ist, und dabei ist zu bemerken, dass solche Pflanzen von so verschiedener Aschenzusammensetzung dennoch eine völlig gleichmässige und normale Ausbildung haben können. Man hat übrigens bei normaler Ausbildung noch ganz andere Differenzen gefunden. So liegen Angaben *) vor von 9—50 % Kali in der Asche gesunder Kleepflanzen; in der Asche von Haferpflanzen 4—38 % Kalk, 18—54 % Kali und 0—27 % Natron.

Man könnte nun mit Berücksichtigung dieses Sachverhalts daran denken, die Methode dahin zu erweitern, dass man durch Zusammenstellung möglichst vieler einzelner Aschenanalysen den Fehler der Zufälligkeit zu eliminiren suchte und so doch im Stande wäre, haarscharf zu unterscheiden zwischen entbehrlichen und nothwendigen Aschenbestandtheilen. — Allein dabei ist zu erwägen, dass bei dem *natürlichen* Wachsthum der Pflanzen *nicht alle möglichen Ernährungsbedingungen*, sondern nur eine beschränkte Anzahl solcher, die ausserdem (als gegeben durch den meist ähnlich zusammengesetzten Erdboden) eine erhebliche Uebereinstimmung unter einander zur Schau tragen; und wir wissen, dass, wo die Zufälligkeiten, von denen wir eine Erscheinung freizumachen bestrebt sind, eine gewisse Gemeinschaftlichkeit an sich tragen, mit andern Worten, in Bezug auf einander keine Zufälligkeiten sind, wir auch nicht hoffen können, diese störenden Faktoren durch Anhäufung einer grossen Anzahl von Einzelbeobachtungen auszumerzen. Wenn z. B., wie dies thatsächlich der Fall ist, der Erdboden, aus dem die Pflanzen ihre mineralische Nahrung schöpfen, *unter allen Umständen aufnahmsfähige Substanzen in sich enthält, die für jene Organismen entbehrlich sind,* so werden wir auch bei jeder einzelnen Aschenanalyse Stoffe vorfinden, die völlig entbehrlich für dieselben sind, deren Entbehrlichkeit selbstredend aber nicht durch jene Methode der Variation gefunden werden kann.

Daselbst finden sich auch Angaben über den durchschnittlichen Gehalt einiger Pflanzenfamilien an Gesammtaschenbestandtheilen, je nachdem die analysirten Exemplare auf Kalkboden oder anderem Boden gewachsen waren:

	Kalkboden	Nicht-Kalkboden
Aschengehalt der Cruciferen	35,8 %	20,1 %
„ „ Leguminosen	40,3 %	28,1 %
„ „ Dispaceen	38,7 %	20,6 %
„ „ Salzineen	68,9 %	51,2 %

*) Landw. Versuchsst. 1869. p. 140—141.

Der Weg der Aschenanalyse kann also nicht zu dem gewünschten Ziele führen, und wenn wir erfahren wollen, welche Bestandtheile constituirend für die Pflanzen sind, ohne welche sie unmöglich bestehen können, so bleibt nur der andere Weg, den man auch einschlagen musste, um ein Aschenbedürfniss überhaupt (und ebenso ein Stickstoffbedürfniss) zu constatiren, übrig — der Weg *der Erziehung der Pflanze in einem künstlichen Medium*, wo man ihr die einzelnen Substanzen, deren Unentbehrlichkeit in Zweifel gezogen wird, nach Belieben verabreichen oder vorenthalten kann.

Auf die *Nothwendigkeit dieser Methode* zur Feststellung des Bedarfs der Pflanze an einzelnen Aschenbestandtheilen weist auch der geschichtliche Verlauf der Entwickelung unserer Anschauungen über die Bedeutung dieser Bestandtheile hin. So lange man den letzteren Weg versäumt hatte einzuschlagen, waren die Ansichten über die Bedeutung der Aschenbestandtheile sehr unbestimmt; denn ganz abgesehen von jenen mittelalterlichen Anschauungen, nach welchen die Aschenbestandtheile als Verbrennungsprodukte der Organismen (ganz in dem Sinn, wie die Metall-kalke [-oxyde] als Verbrennungsprodukte der Metalle) aufgefasst wurden, glaubte man lange Zeit in jenen rein zufällige Beimischungen der organischen Wesen zu sehen; ja man hegte noch bis in sehr späte Zeit, bis tief in unser Jahrhundert, vielfach die Meinung, dass die Aschenbestandtheile *durch den Lebensprocess aus fremden Elementen gebildet würden* — eine Anschauung, die freilich dem zuletzt schon feststehenden Gesetze von der Unmöglichkeit der Stoffverwandlung widersprach.

Aber diesen letzteren Irrthum bei Seite gelassen, so muss man eingestehen, dass bei der damals allein auf diesen Gegenstand angewendeten Methode, im Grunde nichts natürlicher war, als die Meinung von der Zufälligkeit der Aschenbestandtheile. Man wusste, dass im Boden ganz ähnliche Bestandtheile vorhanden waren, wie sie jener unverbrennliche Rest nachwies; man kannte das Verhältniss, in dem die Pflanze vermittelst der Wurzel zum Boden stand, dass sie durch diese Wasser aus demselben sauge; es musste als selbstverständlich erscheinen, dass mit dem Wasser auch die Unreinigkeiten desselben in die Organe der Pflanze übergingen und sich dort ansammelten, genau, wie wir in einem Wassertopf, in dem regelmässig Brunnenwasser gekocht und theilweise verdampft wird, nach und nach einen Rest, den sogenannten Kesselstein, sich absetzen sehen. Dazu war die Geringfügigkeit des in den meisten Fällen nach der Verbrennung von Pflanzen verbleibenden Aschenrests dazu angethan, die eben ausgesprochene Meinung zu befestigen.

Diese Anschauung über die Bedeutungslosigkeit der Aschenbestandtheile war wohl im Anfang dieses Jahrhunderts die herrschende, und wenn die Berliner Akademie der Wissenschaft noch im Jahre 1800 die Preisfrage stellte:

> „Von welcher Art sind die erdigen Bestandtheile, welche man mit Hülfe der chemi-
> „schen Zergliederung in den verschiedenen inländischen Getreidearten findet? Tre-
> „ten diese in solche so ein wie man sie findet, oder werden sie durch die Wirkung
> „der Organe der Vegetation erzeugt?"

und auf diese Frage die Antwort erhielt, dass die Pflanzen die in ihnen enthaltenen Aschenbestandtheile durch den Lebens-Process *) erzeugten, so widersprach

*) Allerdings scheint auch de Saussure noch im Jahre 1802 an die Möglichkeit

diese Lösung doch schon den damals festgegründeten Vorstellungen von der Unverwandelbarkeit der Elementarstoffe in einander, von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie. Es muss daher diese Beantwortung *) schon damals als unzeitgemäss oder mindestens als inconsequent betrachtet werden. Dass man dagegen noch im vorigen Jahrhunderte und namentlich bis zu der Zeit, wo man die Elementarzusammensetzung des Wassers und der andern Stoffe, die vorzugsweise an dem Aufbau des Pflanzenorganismus Antheil nehmen, noch nicht kannte, ganz allgemein der Ansicht huldigte, dass bei der Vegetation wie bei vielen künstlichen Processen Wasser in erdige Stoffe verwandelt werde, kann uns natürlich nicht Wunder nehmen. **)

Es ist nun in der That nicht ganz leicht einzusehen, wie die weitere Entwickelung der Theorie der Aschenbestandtheile, als jene veralteten Anschauungen immer mehr und mehr in den Hintergrund gedrängt wurden, verlief, und in welchem Kopfe namentlich die Idee, dass jene Bestandtheile etwas für die Pflanzen Wesentliches sein möchten, zuerst aufgetaucht ist. — Im Allgemeinen ist wohl zu Anfang dieses Jahrhunderts, wie gesagt, die Ansicht von der Zufälligkeit der Aschenbestandtheile die herrschende gewesen. Die Landwirthe ***) scheinen bis gegen die Mitte dieses Jahrhunderts, soweit sie über dergleichen Dinge reflektirten, grossentheils dieser Meinung gewesen zu sein. Die Pflanzenphysiologen hatten zu jener Zeit Dinge von hervorragenderer theoretischer Wichtigkeit zu bearbeiten und haben nur in vereinzelten Fällen Ansichten über die Bedeutung der Aschenbestandtheile geäussert, geschweige denn über dieselbe Versuche angestellt.

Der *Erste,* welcher den richtigen Sachverhalt, gestützt auf eine grosse Reihe von (wenn auch noch sehr mangelhaften) Untersuchungen und entgegengesetzt seiner eignen früheren Ueberzeugung, ausgesprochen hat, war de Saussure im Jahre 1804, jener grosse Pflanzenphysiologe, dem wir in so mancher Hinsicht epochemachende Entdeckungen verdanken. Sicherlich aber hat dieser die von ihm namentlich für einige Aschenbestandtheile (Phosphorsäure, Kali, Kalk) gewonnene Ueberzeugung nicht mit genügender Bestimmtheit, und auch ohne die bedeutenden praktischen Folgen seiner

---

der Erzeugung der Aschenbestandtheile in den Pflanzen gedacht zu haben. Vergl. Heiden: Lehrbuch der Düngerlehre. I. p. 163.

*) Es geht übrigens aus derselben hervor, welche wichtige Rolle der Lebenskraft zu jener Zeit noch zugetheilt wurde. Offenbar sollte nach Schrader's Auffassung dieselbe im Stande sein, jenes Gesetz der Unverwandelbarkeit der Elementarstoffe in einander für die organische Natur umzustossen.

**) Van Helmont glaubte in der Mitte des 17. Jahrhunderts diese Umwandlung bei dem Wachsen eines Weidenzweigs bewiesen zu haben, und ihm folgten in dieser Auffassung sein Zeitgenosse Boyle und später im 18. Jahrhundert Eller, Bonnet, Duhamel, Wallerius und viele Andere. Vergl. Kopp: Geschichte der Chemie. III. p. 259. Zu Anfang unseres Jahrhunderts ist aber eine analoge Anschauung schon als alleinstehend anzusehen.

***) So sieht z. B. einer der bekanntesten landwirthschaftlichen Schriftsteller dieser Zeit, Hlubek die Aschenbestandtheile als nebensächliche Bestandtheile der Pflanzen an. Vergl. dessen „Landwirthschaftslehre" B. I. p. 122; dessen „Ernährung der Pflanzen und die Statik des Landbaus." 1841 p. 68; wo er geradezu sagt: „Die anorganischen Körper sind zufällige Gemengtheile der organischen Gebilde." — Auch Thaer und mit ihm die ganze herrschende Schule der Landwirthschaft sind derselben Ansicht gewesen.

Entdeckung für die Düngungsmethoden zu erkennen, in seinen Veröffentlichungen*) vertreten, und so hat die vereinzelt bleibende flüchtige Bemerkung eines seiner Zeit vorangeeilten bedeutenden Kopfes keinen Erfolg für die Wissenschaft gehabt und ist ohne jeden Einfluss auf die Entwickelung der praktischen Landwirthschaft geblieben.**)

Mit grösserer Bestimmtheit wurden dann dieselben Anschauungen über die Bedeutung der Aschenbestandtheile für eine grössere Anzahl derselben in der „Bodenkunde“ von Sprengel, die im Jahre 1837 erschien, hervorgehoben. In derselben wird bereits die Unfruchtbarkeit einer Menge von Böden, die gleichzeitig der Analyse unterworfen worden waren,***) auf ihren Mangel an gewissen Aschenbestandtheilen zurückgeführt, woraus also deutlich die Ansicht erhellt, dass diese Bestandtheile theilweise unentbehrlich sein müssten. Noch deutlicher drückte sich Sprengel 2 Jahre später (1839) in seiner „Lehre vom Dünger“ †) über seine Ansicht von

*) Vergl. hierüber Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc. 1862. Einl. p. 19.

**) Auch Humphry Davy hat in seinen „Elementen der Agrikulturchemie“ schon ziemlich deutlich die Ansicht der Unentbehrlichkeit der Aschenbestandtheile für die Pflanzen ausgesprochen, wenn auch nicht scharf genug betont. Vergl. p. 19 der deutschen Uebersetzung jenes Werkes vom Jahre 1814, wo es heisst:

„Die chemische Wirkung der einfacheren Düngerarten, der Düngerarten, welche in „kleinen Quantitäten wirken, wie der Gyps, die Alkalien und mehrere salinische Sub„stanzen, war bis jetzt noch in tiefes Dunkel gehüllt. Die gewöhnlichere Meinung ist „die, dass diese Substanzen auf die vegetabilische Oekonomie auf eben die Art wie „Gewürze oder Reizmittel auf die thierische Oekonomie wirken, und dass sie die ge„wöhnliche Speise der Pflanze nährender machen. — Die Meinung scheint jedoch der „Natur der Sache ungleich angemessener zu sein, dass sie wirklich einen Theil der „Pflanzennahrung ausmachen, und dass sie für die Pflanzenfaser diejenige Art von „Stoff hergeben, welcher im thierischen Körper der Substanz der Knochen „analog ist;“

und auf der folgenden Seite:

„Die Theorie von der Wirkung alkalischer Substanzen ist einer derjenigen Theile der „Agrikulturchemie, welcher am einfachsten und klarsten ist. Sie werden in allen „Pflanzen angetroffen, man kann sie demnach zu den wesentlichsten „Bestandtheilen derselben rechnen. Ihre Geneigtheit, chemische Verbindungen „einzugehen, macht sie geschickt, mehrere Bestandtheile, welche tauglich sind zur Nah„rung der Pflanzen zu dienen, in den Saft derselben einzuführen.“

Im letzteren Satze ist, wie man sieht, schon der Versuch einer Theorie des Nutzens jener alkalischen Aschenbestandtheile für die Pflanze enthalten.

***) Vergl. dieses Buch p. 471—575.

†) Wer mit der landläufigen Meinung, dass unsere ganze neue Anschauung der Pflanzenernährung von Liebig herrühre, dieses ausgezeichnete Werk, das heute noch weit weniger veraltet ist als die „organische Chemie etc.“ von 1840, zum ersten Male in die Hand bekommt, der wird auf's Aeusserste erstaunt sein über die darin niedergelegten richtigen Anschauungen über Pflanzenernährung. Ich beschränke mich darauf folgende Sätze aus demselben mitzutheilen:

„Mit Gewissheit können wir dagegen annehmen, dass sie (die mineralischen Körper) „allen Gewächsen auch zur wirklichen Nahrung dienen und zu ihrer chemischen Con„stitution eben so wesentlich erforderlich sind, als der Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasser-

der Ernährung der Pflanzen aus. In diesem Werke spricht er über die unentbehrlichen Nahrungsmittel der Kulturgewächse und erachtet — freilich wie de Saussure, nur gestützt auf Aschenanalysen — Eisen, Mangan, Talkerde, Kali, Natron, Chlor, Phosphorsäure, Schwefelsäure, ausserdem von nicht feuerfesten Verbindungen, die stickstoffhaltigen Körper als nothwendige Bestandtheile eines fruchtbaren Bodens,*) neben den schon bis dahin als nothwendig angesehenen Bodenbestandtheilen, Thon, Kalkerde und Humus.

Aber auch dieser Ausspruch, obschon er einen krassen Gegensatz bildete zu den damals noch in der Landwirthschaftslehre geltenden Anschauungen, scheint wenig Beachtung gefunden zu haben, und so war es Liebig vorbehalten, der eigentliche Gründer der neuen Ernährungstheorie der Pflanzen zu werden, die in der Folge einen so bedeutenden Einfluss auf die Theorie des landwirthschaftlichen Pflanzenbaus ausüben sollte. Es mag diese Thatsache einem Jeden auffallen, der durch ein aufmerksames vergleichendes Studium der von Liebig in seinem berühmten Werkchen vom Jahre 1840 aufgestellten Thesen und der schon *vor ihm* vertheidigten Sätze über Pflanzenernährung constatirt, dass sich die ersteren eigentlich nur in Nebendingen von diesen letzteren unterscheiden, dass sogar einige der Liebig'schen Zuthaten **) sehr problematischer Natur gewesen sind und später

„stoff und Stickstoff der organischen Düngermaterialien. Der unrichtigen Ansicht über „die Wirkungsart der Mineralien opfert man in der That schon seit langer Zeit bedeu„tende Vortheile, denn unleugbar würde man die Pflanzenkultur mit einem viel grösse„ren Erfolge betreiben, wenn man dabei von dem Grundsatze ausginge, die Pflanzen „müssten alle und jede Mineralien, die wir in ihnen finden, auch in hinreichender „Menge im Boden antreffen." (Vergl. p. 284), und: „Wir sehen immer, dass diejenigen „Aschen am besten düngen, welche reich an Gyps, phosphorsaurer Kalkerde, Kochsalz „und schwefelsaurem Kali sind; folglich können wir uns auch überzeugt halten, dass, „da diese Salze nicht auf den Humus des Bodens wirken, die Pflanzen durch selbige „einzig und allein ernährt werden." (Vergl. p. 356) „schon oft hat man gesehen, dass „ein Düngesalz, welches in der einen Gegend das üppigste Pflanzenwachsthum hervor„brachte, in der andern sich völlig indifferent verhielt; dies lässt sich nur dadurch „erklären, dass der Boden schon alle die Stoffe, woraus das Salz bestand, in hinreichen„der Menge enthielt u. s. w." (p. 408). Vergl. ferner p. 351, wo von der Aschendüngung, p. 388, wo von den düngenden Eigenschaften des schwefelsauren Kali die Rede ist Kurz in dem Buche ist die ganze wesentliche Ernährungslehre der heutigen Agrikulturchemie fast vollständig enthalten. Gegenüber den in dem Liebig'schen Buche niedergelegten Anschauungen ist nur auf den einen wesentlichen Unterschied aufmerksam zu machen, dass Sprengel die düngende Wirkung theilweise durch die Aufnahme humoser organischer Stoffe durch die Pflanze erklärt. In dieser Frage hat Liebig einen entschiedenen Fortschritt angebahnt, wenn freilich auch nicht verhehlt werden kann, dass er wieder über das Ziel hinausschoss, und Sprengels Ansicht nach dem damaligen Stand der Erkenntniss berechtigter erschien. Im Uebrigen zeichnet sich das Sprengel'sche Werk vor dem Liebig'schen (abgesehen von der im ersteren niedergelegten weit umfassenderen Sachkenntniss) durch eine weise Mässigung in der Aufstellung von neuen Thesen und unberechtigten Theorien aus, die es freilich für die grosse Menge zu einem unscheinbaren machte.

*) Vergl. ebenda p. 575.

**) Ich erinnere nur an die Theorie der Bedeutung der organischen Basen (Die org. Chem. i. i. Anw. etc. 1840. p. 92), an die Meinung von der Vertretbarkeit der anorganischen Basen untereinander (p. 87—90) und viele andere Irrthümer, die aus den neuen Auflagen auszumerzen, der Verfasser nicht für nöthig gefunden hat.

fallen gelassen werden mussten. Dieselbe muss um so mehr befremden, wenn man erfährt, dass die Liebig'schen Behauptungen auf ganz derselben Basis der Erkenntniss*) beruhen, wie die identischen von Sprengel aufgestellten, dass von ihm ebenso wenig eine experimentelle Beweisführung unternommen worden war, wie von diesem. Beide kannten den Gehalt einer grossen Reihe von Gewächsen an Aschenbestandtheilen, die im Grossen und Ganzen dieselben waren; Beide schlossen bei dieser Uebereinstimmung der Resultate der Aschenanalysen, dass diese Bestandtheile nichts Zufälliges sein konnten; Beide wussten ferner durch eine glückliche Combination gewisse Erscheinungen in der landwirthschaftlichen Praxis als da sind, die Unfruchtbarkeit mancher Ländereien, die auffällige Wirkung mancher Düngemittel etc. in Beziehung zu jener Erkenntniss zu bringen, und so kamen Beide zu wesentlich der gleichen Theorie der Pflanzenernährung, und Sprengel gebührt in Bezug auf diese ohne alle Widerrede die Priorität.**)

Allein, wenn man näher zusieht, geben sich doch bedeutende Unterschiede zu erkennen, welche die Wirksamkeit des Liebig'schen Auftretens erklären und die Leistung dieses genialen Forschers in das rechte Licht setzen. Es ist das unanfechtbare Verdienst von Liebig, auch wenn von den richtigen Sätzen, die er in seinem Buch von 1840 ausgesprochen hat, keiner sein geistiges Eigenthum genannt werden dürfte, dass die Wichtigkeit derselben seinem Auge nicht entging, dass er einsah, wie es allein durch die Zerlegung *der complexen Begriffe Boden, Dünger, Fruchtbarkeit in einzelne naturwissenschaftlich definirbare Faktoren* gelingen könne,

*) Liebig argumentirt noch (p. 95 seines Buches): „Diese Thatsachen ihrem wahren Werth nach anerkannt, müssten die alkalischen Basen, die wir in den Aschen finden, zum Bestehen der Pflanzen unentbehrlich sein; denn wären sie es nicht, so wären sie nicht da."

**) Es ist die wenig dankbare, wenn auch dankenswerthe Aufgabe des redlichen Referenten, wie des Geschichtschreibers, Verdienste, die noch der Gegenstand einer begeisterten Bewunderung sind, nüchtern abzumessen und häufig ihren Werth herabzustimmen.

Das Ansehen derselben Liebig'schen Theorien, die anfangs in kläglicher Missachtung von Seiten der Landwirthschaft bei Seite geworfen worden waren, ist heute grösser als jemals und, nach dem historischen Gesetze des Schwankens der öffentlichen Meinung von einem Extrem in's andere weit bedeutender, als sie es verdienen. — Diejenigen Landwirthe und Agrikulturchemiker, die jetzt die öffentliche Meinung beherrschen, stehen noch zu sehr unter dem Einfluss der Ideen, die den Umsturz bewirkt haben. Erst das jüngere Geschlecht tritt allen, auch den neuesten Anschauungen objektiv gegenüber, sie alle mit gleichem Eifer und ohne Vorliebe auf ihre Berechtigung prüfend, — und erst dies jüngere Geschlecht wird im Stande sein, eine gemässigte Mittelpartei zu bilden, die einem richtigen Urtheil wenigstens näher kommt.

Aber dieses Schwanken der Meinungen vom einen Extrem in's andere (wie wir es sonst nur auf dem Gebiete des praktischen Handelns und nicht in dem Grad bei wissenschaftlichen Theoremen gekannt haben) ist auch nur in dem Grade möglich gewesen wegen der unglaublichen Unbekanntschaft der landwirthschaftlichen Interessenten und Theoretiker entweder mit den physischen oder wirthschaftlichen Faktoren des Landbaus oder gar mit beiden, mit anderen Worten wegen der Vielköpfigkeit des landwirthschaftlichen Publicums, das selbst unfähig zu urtheilen, doch ein Recht erhält mitzureden, daher sich an Autoritäten anschliesst und so die Autoritäten in gefährlicher Weise kräftigt.

eine Theorie des Landbaus zu construiren, deren Erfolge — hatte sie sich einmal ein Recht gesichert in der Praxis mitzureden — ganz unabsehbare sein mussten. Diese Einsicht, die ihn ohne Zweifel über diejenigen Zeitgenossen, die zur selben naturwissenschaftlichen Erkenntniss gelangt waren, erhebt, hatte ihn befähigt, jene schöne eindringliche Sprache zu reden, die seinem Buche einen so grossen Leserkreis verschafft hat. *) Dazu kam der bedeutende, durch grossartige Leistungen auf dem Gebiete der reinen Chemie erworbene, Ruf Liebig's, der sein Buch auch in den wissenschaftlichen Kreisen zu einem der gelesensten machte und den darin ausgesprochenen Theorien eine grosse Verbreitung sicherte.

Auf diese Weise wird es denn erklärlich, dass man Liebig, obgleich die *wesentlichsten* und *bleibenden Ansichten*, die er im Jahre 1840 aussprach, schon vorher aufgestellt worden waren, obgleich diese Ansichten in keinem Stücke besser begründet waren, als die seiner Vorgänger, doch als den Schöpfer einer neuen Theorie ansieht und von dem Jahre des Erscheinens seines Buches eine neue Epoche der Lehre von der Pflanzenernährung datirt.

Der eigentliche Beweis nun, dass dem wirklich so sei, wie in einzelnen Stücken de Saussure und Davy, wie später deutlicher Sprengel und Liebig behauptet hatte, wurde merkwürdigerweise erst nachträglich geliefert, wenn auch beinahe um dieselbe Zeit, als diese letzteren ihre neue Theorie der Pflanzenernährung aufstellten.

Die Universität Göttingen hatte die unsichere Basis, auf der die verschiedenen Ansichten über die Ernährung der Pflanzen, die so schroff einander gegenüber standen, ruhten, erkannt, und sich bewogen gefunden, die Preisfrage zu stellen: *„ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie denselben nicht dargeboten werden, und ob jene Elemente so wesentliche Bestandtheile des vegetabilischen Organismus seien, dass dieser sie zu seiner völligen Ausbildung bedürfe?“*

Man sieht auch aus dieser Fragestellung, wie noch spät in unser Jahrhundert hinein der Gedanke an eine Umwandlung der chemischen Grundstoffe durch die eigenthümlichen Kräfte des Organismus, immer wieder auftauchte, **) da man ihn

---

*) Ich habe hier um so lieber Gelegenheit genommen, von dem Verdienste Liebig's um die Agrikulturchemie, die fast durchweg in der von seinen Werken ausgehenden Anregung bestand, einige Worte zu reden, da wir diesen Forscher bei den meisten Detailfragen, als Vertreter ungerechtfertigter und später widerlegter Anschauungen kennen gelernt haben oder kennen lernen werden. Zur Bearbeitung dieser Fragen fehlten ihm theilweise die unentbehrlichen Special-Kenntnisse, namentlich gänzlich die einschlägigen aus der Pflanzen-Anatomie und -Physiologie, Mikroskopie — auf naturwissenschaftlichem Gebiet, ferner aus der Volkswirthschaft und der Geschichte, theilweise sind ihm auch (wie bei seinen Schlüssen über die Ursache der Pflanzenkrankheiten, die von Pilzen erzeugt werden (geradezu logische Fehler nachzuweisen. In dieser Seite Liebig's liegt eine grosse Gefahr für die Wissenschaft, die ihm blindlings vertraut.

**) Uebrigens hatte schon John in einer Preisschrift vom Jahre 1819 die Aufnahme der Aschenbestandtheile von Aussen nachgewiesen; vergl. Unger: Einfluss des Bodens etc. 1836. p. 133. Aber Unger schwankt selbst in diesem Werke, obgleich er es als bewiesen

schon lange als völlig unverträglich mit den sonst in der Chemie geltenden Anschauungen halten sollte. — Allein diesmal fiel die Beantwortung nicht mehr in demselben Sinne aus wie 40 Jahre früher. Der Preis wurde im Jahre 1842 Wiegmann und Polstorff zuerkannt, die, gestützt auf eine vollständige experimentelle Beweisführung, die gestellte Frage dahin beantworteten*): *dass das Wachsthum der Pflanzen sehr behindert und fast ganz unterdrückt werde, sobald nicht eine gewisse Menge unorganischer Bestandtheile in auflöslichem Zustande im Boden zugegen sei.* In dieser Beantwortung ist einmal der Satz von der *Unentbehrlichkeit* gewisser Aschenbestandtheile, zugleich aber auch nebenbei der von der *Unerschaffbarkeit* dieser Bestandtheile eingeschlossen enthalten.

Die Beweisführung dieser von Wiegmann und Polstorff aufgestellten Sätze war wie gesagt zum Unterschied von ihren Vorgängern, die dieselben Thesen vertheidigt hatten, eine rein experimentelle und nicht theilweise deduktiv. Dieselben begnügten sich nicht mit der Anstellung von Aschenanalysen, sondern wählten die Methode, die nach den oben gemachten Ausführungen die allein endgültig entscheidende sein konnte, — die Methode, die im Gegensatz zu jener andern bezeichnend die *synthetische* **) genannt worden ist; sie zogen eine ganze Reihe von Pflanzen (Vicia sativa, Hordeum vulgare, Avena sativa, Polygonum Fagopyrum, Nicotiana Tabacum und Trifolium pratense), also unsere bekanntesten landwirthschaftlichen Nutzpflanzen von dem Samen an in einem Boden, der seinen festen Theilen nach aus weissem, vorher mit Königswasser behandeltem Sande bestand, aber in dem einen Fall blos mit reinem destillirtem Wasser begossen, im anderen Falle ausserdem mit einer Reihe von grossentheils mineralischen Stoffen, wie sie sich in der natürlichen Ackererde sowohl, als auch theilweise in der Pflanze vorfinden, versetzt wurde. In diesen beiden verschiedenen Nährböden wurden alsdann die Pflanzen wachsen gelassen und nach Vollendung ihrer sommerlichen Vegetationsperiode der Aschenanalyse unterworfen.

In dem reinen Sande gediehen die Pflanzen nur sehr kümmerlich und zeigten bei der Analyse eine grosse Armuth an Aschenbestandtheilen, während sie in dem gemischten Boden freudig gediehen. Die ersteren enthielten indessen eine grössere Menge von Aschenbestandtheilen, als in den ausgelegten Samen vorhanden war, und so konnte der gesuchte Beweis noch nicht als geführt angesehen werden. Es gelang aber bald, in dem Sande, der noch nicht vollständig gereinigt war, die Quelle jenes Ueberschusses zu entdecken und durch eine Vegetation von Kresse in sehr fein geschnittenem Platindrath, der sich in einem Platingefäss befand und mit destillirtem Wasser begossen wurde, zu zeigen, dass, wenn man jede Möglichkeit der Assimilation von Aschenbestandtheilen von Aussen abschnitt, es nicht gelang, mehr Asche in den entwickelten Pflänzchen nachzuweisen, als der ausgelegte Same enthielt.

ansieht, dass die Basen nicht durch den Lebensprocess erzeugt werden können, ob sie nicht durch diesen in einander umgewandelt werden (siehe p. 135).

*) Wiegmann u. Polstorff: Ueber die anorg. Bestandtheile der Pflanzen etc. Braunschweig 1842.

**) Knop: Kreislauf des Stoffs. I. p. 569.

Nimmt man diese beiden Versuche zusammen, so können sie dann mit vollem Rechte als experimentelle Beweisführung der vorangestellten Behauptungen dienen.

So war also der schon vorher auf einem andern Wege gefolgerte Satz, den man bereits zu weittragenden Schlüssen benutzt hatte, streng bewiesen; er war es aber erst in einer sehr allgemeinen und unbestimmten Form. Man wusste nun allerdings, dass die Aschenbestandtheile der Pflanzen nicht sammt und sonders zufällig in diese Organismen geriethen, dass ihnen vielmehr gewisse nothwendige physiologische Funktionen zukämen. — Aber was war mit dieser Erkenntniss anzufangen? — Einige praktische Folgerungen konnten aus derselben vielleicht gezogen werden: — theoretisch war sie in dieser Form noch ohne alles Interesse.

Es handelte sich offenbar darum, den complexen Begriff „Aschenbestandtheile" weiter zu zerlegen, zu fragen, *welche Stoffe es seien*, um derentwillen die Pflanze jener nicht entrathen konnte. Die Methode, die zu diesem Zwecke gewählt werden *musste*, lag nach dem früher Gesagten auf der Hand.

Sobald man einmal den Weg erkannt hatte — und er war durch die Wiegmann-Polstorff'sche Arbeit angedeutet — der allein zu einer Beantwortung der gestellten Frage eingeschlagen werden konnte, sobald man einmal eingesehen hatte, dass es nöthig war, die auf ihr Bedürfniss an einzelnen Aschenbestandtheilen zu prüfende Pflanze mit Zufuhr und mit Ausschluss der betreffenden Stoffe wachsen zu lassen, um so den Effekt dieses Ausschlusses beurtheilen zu können, wurde die Bearbeitung der Frage von vielen Seiten in die Hand genommen. Man suchte nun zuerst Methoden auf, um Pflanzen in einem leicht zu controlirenden Nährstoffgemisch zur normalen Entwickelung zu bringen; und die Ausbildung dieser Methoden hat eine erhebliche Zeit in Anspruch genommen. Nur in ihrer allgemeinsten Form war durch den vorhin erwähnten Versuch von Wiegmann und Polstorff die Frage nach dem Aschenbedürfniss der Pflanzen gelöst worden; zwischen diesem Resultat und der Beantwortung der specielleren, nun nothwendig herantretenden Frage nach dem Bedürfniss an einzelnen chemischen Bestandtheilen jener complexen Asche lag noch ein schwieriger Weg. Es musste zur Erledigung dieser gelingen, die Pflanze in einem chemisch völlig bekannten Boden zur Vollendung ihrer Vegetationserscheinungen zu bringen, um dann durch Weglassen eines oder des andern Bestandtheils dessen Bedeutung zu erfahren.

Es haben sich im Verlauf der beiden letzten Jahrzehnte im Wesentlichen zwei Methoden ausgebildet, die diesem Zweck genügten. Beide gehen davon aus, der Pflanzenwurzel ihre Nahrung in Form einer wässrigen Lösung zu reichen. Eine dritte Methode,*) die davon ausginge, die Pflanze in einem der natürlichen Ackererde ähnlichen Gemisch und mit abwechselnder Hinweglassung der einen oder der andern, den Boden constituirenden chemischen Bestandtheile zu ziehen, ist zur Lösung der Frage nach der Bedeutung der Aschenbestandtheile niemals in Anspruch genommen worden. Eine solche ist auch, obgleich sie ohne allen Zweifel in den meisten Fällen weit rascher befriedigende Antworten geliefert haben würde, gerade für die Aschenbestandtheile mit vielen in der Darstellung dieser Gemische liegenden Schwierigkeiten

*) Auf der Versuchsstation Ida-Marienhütte scheint allerdings etwas Derartiges unternommen worden zu sein. Vergl. Chem. Ackersmann B. 54. p. 187.

verknüpft und ist nur für die Frage nach der Entbehrlichkeit der organischen Bestandtheile und der Stickstoffverbindungen mit vielem Erfolge benützt worden, weil in diesen Fällen die Erde durch einfaches Glühen in der gewünschten Weise abgeändert werden konnte.

Bei den Methoden, die thatsächlich zur Bearbeitung der uns beschäftigenden Frage angewendet worden sind, trat nun jene andere Schwierigkeit entgegen, dass (da der Pflanzenwurzel alle Stoffe in einer fertig bereiteten Lösung dargeboten wurden) sich diese Wurzel in ganz andern Ernährungsbedingungen befand, wie in der natürlichen Ackererde, wo (wie wir später erkennen werden) keine fertige, sich gleich bleibende Lösung vorhanden ist, die Pflanzenwurzel vielmehr selbstthätig eingreift, sich selbst Lösungen bereitet u. s. w., kurz wo eine Complication der Ernährungsverhältnisse vorliegt, die wir noch kaum zu übersehen vermögen. Es ist unnöthig, diese Schwierigkeiten alle einzeln aufzuzählen; es genügt, hervorzuheben, dass bei einer Ernährung durch eine fertige Lösung viele Substanzen in ganz anderer chemischer Form und Gruppirung dargeboten werden müssen, als dies in dem natürlichen Boden, so verschieden dieser auch sonst immer sein mag, geschieht, dass eine Reihe von Funktionen, wie das annähernde Constanthalten der Lösungen, das beim natürlichen Zustand der Dinge durch eine merkwürdige Eigenschaft der Ackererde besorgt wird, bei jener künstlichen Ernährung durch den Experimentator, der natürlich erst durch eine Reihe von Erfahrungen zu diesen Geschäften befähigt werden kann, vorgenommen werden müssen.

Die eine dieser Methoden nun, die in ihren Uranfängen sehr alt *) ist, ist die der Wasserkultur; die Pflanzenwurzel taucht geradezu in die wässrige Lösung der Stoffe, die der Pflanze als Nährstoffe zugeführt werden sollen. Die andere, welche eigentlich dieselbe ist, die auch von Wiegmann und Polstorff angewendet worden ist, sucht die rein physikalische Beschaffenheit des natürlichen Bodens einigermassen herzustellen, gibt also der Wurzel einen gewissen mechanischen Halt, ist aber genau wie jene eine Methode der fertigen Lösung, indem sie alle chemische Wechselwirkung zwischen festen Bodentheilchen und Nährstofflösung ausschliesst; d. h. die festen Theilchen des Bodens sind absolut unlösliche Substanzen und haben auch nicht die Fähigkeit, die Concentration und relative Zusammensetzung der Lösung in irgend einer Richtung abzuändern.

Aus dem früher Gesagten geht hervor, dass, als man begann diese Methoden der künstlichen Ernährung der Pflanzen in Angriff zu nehmen, man unmöglich wissen konnte, ob es auf diesem Wege überhaupt gelingen würde, eine Pflanze in normaler Weise fortzubringen. Es war ein Versuch, unternommen auf gut' Glück, und man hatte schon Jahre lang an der Ausbildung der Methoden gearbeitet, als man noch an dem Erfolg, auf diese Weise Gewächse von einiger Vollkommenheit zu erziehen, verzweifelte! **) Und auch jetzt, wo es gelingt, einzelne Pflanzenarten unter günstigen Umständen in jeder nur denkbaren Ueppigkeit ***) nach dieser Methode zu erhalten,

*) Du Hamel scheint sie zuerst, wenn auch in unvollkommener Form angewendet zu haben (Vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs. I. p. 572).

**) Knop: Landw. Versuchsst. 1860. p. 287.

***) Vergl. E. Wolff: Landw. Versuchsst. 1868. p. 351 u. f.

muss man für andere die Hoffnung zurücklassen, auch nur zu einer Vollendung des Kreislaufs *) des Organismus zu gelangen.

Allein für diejenigen Gewächse, für welche es gelang, die Wasserkultur mit allem nur wünschbaren Erfolg anzuwenden, konnte dieselbe dann auch als vortreffliche Methode, die den Namen einer „durchsichtigen" **), der ihr zu Theil geworden ist, in vollem Masse verdient, zur Beantwortung der Frage nach der Entbehrlichkeit oder Nothwendigkeit der einzelnen Bestandtheile, welche in dem feuerfesten Rückstand der unter natürlichen Verhältnissen gewachsenen Pflanzen aufgefunden worden waren, benutzt werden, gerade wie sie auch zur Erledigung von nunmehr hinter uns liegenden Fragen nach der Art der Stickstoff- und Kohlenstoff-Assimilation häufig Verwendung gefunden hat.

Das nähere Verfahren ergibt sich ganz von selbst. Man ging immer von einer seiner Zusammensetzung nach genau gekannten Nährstofflösung aus, die im Stande war, die Pflanzen normal fortzubringen, und liess nun einzelne Stoffe, deren Bedeutung ermittelt werden sollte, entweder einfach weg, oder ersetzte sie durch andere chemisch ähnliche Stoffe, bis man endlich Antwort auf die der Natur vorgelegten Fragen erhalten hatte.

Es kann natürlich hier weder meine Aufgabe sein, von allen den technischen Schwierigkeiten zu reden, die bei der Ausbildung der Methode der Wasserkultur überwunden werden mussten, noch eingehender von den Manipulationen zu handeln, mit denen man vertraut sein muss, um sich derselben bedienen zu können. Nur solche Mittheilungen über diese Methode, die sich mehr auf deren *Leistungsfähigkeit* beziehen, darf ich hier nicht zurückhalten.

Die „Wasserkultur" eines Gewächses beginnt fast unter allen Umständen mit der Entwickelung desselben aus dem *Samen*. Ganze schon entwickelte Pflanzen. die bis dahin unter gewöhnlichen Verhältnissen in der Erde gewachsen waren, aus dem Boden zu nehmen und nach der Reinigung der Wurzel mit dieser in eine wässrige Lösung zu versetzen, hat man aus mehreren Gründen gänzlich aufgegeben. Einmal ist es nicht möglich, solche Entfernungen aus der Erde, in welche die Pflanze ihre Wurzeln geschlagen, vorzunehmen, ohne vielfache Zerreissungen der feinsten Wurzelhärchen (auch bei aller erdenklicher Vorsicht) zu bewirken, und die stark beschädigte Pflanze hat natürlich viel weniger Aussicht, in dem ihr fremden Medium üppig zu gedeihen. Und dann bildet die Pflanze ihre Wurzeln in einer wässrigen Lösung und in der feinen Erde so ausserordentlich verschieden aus ***), dass dieselben aus dem einen Medium in das andere verbracht, nicht ohne Weiteres fähig sind, dort für die Ernährung der Pflanze, der sie angehören, zu wirken. So hat man beobachtet, dass die Wurzelenden, die in der Erde gebildet worden waren, abstarben †),

*) Unter Vollendung des Kreislaufs einer Pflanze hat man zu verstehen, die Reproduktion von keimfähigen Samen.

**) Knop: Kreislauf des Stoffs. I. p. 582.

***) Vergl. z. B. Stohmann: Landw. Versuchsst. 1862. p. 66.

†) W. Wolf: Landw. Versuchsst. 1864. p. 203; Knop u. W. Wolf: ebenda 1865. p. 346; Knop: ebenda 1863. p. 97 etc.

wenn sie in die Nährstofflösung gebracht wurden *), dass sich aber sogleich neue Wurzeln von ganz anderem Aussehen bildeten, die sich ganz wohl in der Lösung befanden und tauglich waren, die Aufnahme von Wasser und gelösten Stoffen zu besorgen. — die Pflanze zu ernähren.

Allein noch ein anderer Grund von hervorragenderer Wichtigkeit zwingt dazu, von der Versetzung schon entwickelter Pflanzen abzustehen und die Kulturmethode so einzurichten, dass der Samen gleich von vorne herein in einer wässrigen Lösung seine Wurzel entwickelt. Da bei den Versuchen der Ausschliessung einzelner Aschen- (oder anderer) Bestandtheile, wozu die Wasserkultur in der Regel benutzt wird, auch die einzelnen in dem ursprünglich ausgelegten Organismus ja nothwendig enthaltenen Aschen- (oder anderen) Bestandtheile in möglichst geringer Menge vorhanden sein müssen, damit sie während des Kulturversuchs als durch hinreichende Verdünnung *ausgeschlossen* angesehen werden können, so ist es natürlich nothwendig, die Pflanze *in dem Stadium* in die Nährstofflösung zu versetzen, wo dieselbe *ein Minimum* **) *an Aschenbestandtheilen* enthält, d. i. als Samen. — Wollte man die schon entwickelte Pflanze in die Lösung versetzen, so würde dieselbe schon eine gewisse Menge von Aschenbestandtheilen von Aussen in sich aufgenommen haben, und es würde so weit schwieriger zu entscheiden sein, ob irgend einer dieser Bestandtheile, der in der Nährstofflösung fehlt, als ausgeschlossen betrachtet werden darf, und ob man, wenn das Resultat des betreffenden Wasserkulturversuchs die normale Ausbildung der Versuchspflanze ist, auf die Entbehrlichkeit des in der Lösung fehlenden Stoffes schliessen kann.

Es darf hier überhaupt die Bemerkung nicht unterdrückt werden, dass der experimentelle Nachweis der Entbehrlichkeit irgend eines im ausgelegten Samen enthaltenen Aschenbestandtheils in *voller Strenge* unmöglich bleiben muss, da durch die Kultur mit Ausschluss irgend eines Stoffs in der zugeführten Nahrung nur eine mehr oder minder erhebliche Verdünnung der in den Samen enthaltenen Aschenbestandtheile, niemals deren gänzliches Verschwinden erreicht werden kann. Wir helfen uns indessen hier mit dem auf ganz anderem Wege abgeleiteten Schlusse, dass die physiologische Wirkung eines Stoffes — und auf eine solche läuft am Ende doch die Unentbehrlichkeit desselben hinaus — in einem festen *endlichen* Verhältnisse stehen muss zu dessen Menge, so dass eine *sehr grosse* Verdünnung, d. i. Verminderung desselben in Bezug auf die nun vorhandene Pflanzenmasse genau dasselbe bedeutet, wie eine wirkliche Eliminirung ***). Es erhellt aber gleichzeitig hieraus, dass der Beweis der Entbehrlichkeit eines im Pflanzensamen enthaltenen Aschenbestandtheils um so vollständiger geführt sein wird, je grösser jene Verdünnung, d. h. je kleiner der Same im Verhältniss zu der aus ihm hervorgehenden Pflanze ist etc. Diese Grundsätze sind bei der Beurtheilung einer experimentellen Beweisführung für die Entbehrlichkeit irgend eines Stoffs nicht ausser Acht zu lassen; sie gelten aber selbstredend nicht für die Wasserkultur allein.

---

*) Umgekehrt scheint dies leichter zu gelingen. Vergl. Knop: ebenda 1863. p. 98.

**) Selbstverständlich kein procentisches Minimum.

***) Jenes Verhältniss muss der Theorie nach ein endliches sein, und so muss sich schon bei einer grossen Verdünnung die Abschwächung der Vegetation fühlbar machen.

Dies sind die Gründe, die dazu bewogen haben, auch bei der Wasserkultur immer vom Samen auszugehen, und wenn man in einzelnen Fällen dies Princip verlassen musste, weil die Pflanzen, mit denen man experimentiren wollte, nicht gut aus dem Samen fortzubringen sind, so büssen derartige Versuche, je nach der Masse des ausgelegten Pflanzenstücks und dessen Gehalt an den fraglichen Bestandtheilen, mehr oder weniger von ihrer Beweiskraft ein und sind nur als ein Nothbehelf zu betrachten.

Zur Anstellung von Wasserkulturen lässt man also — wenn sie anders den Zweck haben sollen, Fragen nach dem Stoffbedarf zu entscheiden, — die Samen in destillirtem Wasser quellen und keimen, und wenn alsdann das Würzelchen hervorgetreten ist und eine gewisse Länge erreicht hat, wird die Keimpflanze so über der Nährstofflösung befestigt, dass blos das Würzelchen in diese eintaucht, wozu dann technische Vorschriften *) gegeben werden. — Eigenthümliche Schwierigkeiten bieten dann die Concentrationsänderungen, die die Pflanze durch ihre eigene Ernährung und Stoffaufnahme bewirkt, die Ausscheidungen, die von der Pflanze manchmal vorgenommen werden und durch welche die Reaktion der Flüssigkeit leicht abgeändert wird, und dann endlich das für manche Gewächse hervortretende Bedürfniss nach verschiedenen Nährstoffen in verschiedenen Concentrationsverhältnissen in ihren verschiedenen Entwickelungsstadien.

Die Reaktions- und Concentrationsänderungen, die dadurch veranlasst werden, dass von der Pflanze die gelösten Stoffe und das Lösungsmittel im Allgemeinen nicht in dem gerade gegebenen Verhältnisse **) aufgenommen werden, und die Missstände, die durch Ausscheidungen aus der Wurzel herbeigeführt werden, können in ihren Folgen nur vermieden werden durch eine häufige *Erneuerung* der Nährflüssigkeit und dergleichen, und desshalb besteht eine Hauptsache bei den Wasserkulturversuchen in der rechtzeitigen Versetzung der Versuchspflanzen in neue Lösungen. Manche Methoden der Wasserkultur, wie sie namentlich von Sachs ***) ausgebildet worden sind, sollten nun auch wahrscheinlich dem in verschiedenen Vegetationsperioden verschiedenen Nährstoffbedürfniss Rechnung tragen, indem nach solchen Methoden „der faktionirten Lösungen“ die Pflanzen nacheinander in Lösungen von verschiedener Zusammensetzung gebracht werden, ohne dass freilich auf diesem Wege, wenn er vielleicht auch unter Umständen ein recht zweckmässiger genannt werden darf, hervorragend günstige Resultate erlangt worden wären. †)

*) Z. B. Knop: Landw. Versuchsst. 1863. p. 95 u. f.; J. Sachs: Handbuch d. Exp. Phys. d. Pfl. p. 122.

**) Siehe hierüber die späteren Vorlesungen über Stoffaufnahme, besonders die einundzwanzigste.

***) Landw. Versuchsst. 1860. p. 219—268 u. and. Ort.

†) Es ist dabei daran zu erinnern, dass ja auch in der Natur, nach deren zufälligen Verhältnissen ja doch das Bedürfniss der Pflanzen durch natürliche Züchtung — wie wir annehmen — sich herangebildet hat, keine Einrichtungen bestehen, die in wirksamer Weise für eine verschiedene Nährstoffzufuhr in verschiedenen Vegetationsperioden sorgten. Dennoch haben wir in der landwirthschaftlichen Praxis Anhaltspunkte dafür, dass gewisse Düngungen gerade in gewissen Wachsthumsstadien am meisten Wirkung thun.

Alles in Allem kann man sagen, dass bei der Wasserkultur desshalb so viele Vorsichtsmassregeln gehandhabt werden müssen, weil der Experimentator gezwungen ist, für eine Reihe von Dingen Sorge zu tragen, die bei dem Gedeihen der Pflanze in der Natur durch die eigenthümlichen Eigenschaften des Bodens selbst besorgt werden. Dieser vermag, wie wir später ausführlich kennen lernen werden, ungünstige Concentrationsverschiedenheiten in sehr mächtiger Weise auszugleichen und auch theilweise Pflanzenausscheidungen, da wo sie erfolgen, unschädlich zu machen, — mit einem Worte Geschäfte zu verrichten, die bei dem Auseinanderreissen der Dinge aus ihrem natürlichen Zusammenhange, nun in mühseligen Einzelverrichtungen, die dem Versuchsansteller anheimfallen, vollzogen werden müssen. Aus dieser Sachlage erklären sich denn auch höchst naturgemäss die anfänglichen Hindernisse, an denen die Wasserkulturversuche zu scheitern drohten und die sie auch jetzt noch, trotz den in vereinzelten Fällen glänzenden Erfolgen, zu Experimenten von sehr launischen Resultaten machen.

Hier reiht sich dann auch der Mangel einer ganzen Reihe von für das Pflanzenleben höchst günstigen physikalischen Eigenschaften, die der natürliche Boden besitzt, an — ich nenne nur das Verhalten gegen Wärme —, der sich bei der Kultur in Lösungen geltend macht, und der geradeso wie das Fehlen jener anderen Eigenschaften des Bodens durch die Umsicht und die Geschicklichkeit des Experimentators ausgeglichen werden muss, so dass es in Anbetracht aller dieser Umstände eher wunderbar erscheint, dass wir auf dem Wege der Wasserkultur schon zu normalen Resultaten gelangt sind, als dass man von so häufigen Misserfolgen liest, wie dies in der That der Fall ist.

Auf die Zusammensetzung der angewandten Lösungen werden wir erst eingehen, wenn wir von der Nothwendigkeit oder Entbehrlichkeit der einzelnen in den Pflanzenaschen vorgefundenen Bestandtheile eine Vorstellung erlangt haben.

Die andere Methode nun, die neben der Wasserkultur zur Beantwortung der Frage nach der Nothwendigkeit einzelner in der Pflanze vorgefundener Bestandtheile angewendet werden konnte und angewendet worden ist, besteht, wie gesagt, darin, dass die Stoffe der Pflanzenwurzel, ebenso wie bei der eigentlichen Wasserkultur, in Lösungen dargeboten wurden, dass man aber gleichzeitig suchte, den natürlichen Boden bezüglich seiner mechanischen Struktur nachzuahmen. Die festen Theilchen des Bodens sind dabei ganz von der Fähigkeit, die Pflanze auch indirekt zu ernähren, ausgeschlossen und sollen nur der Wurzel zu ihrer gewohnten Ausbildung verhelfen. Der Boden besteht daher aus Pulver sehr verschiedener unlöslicher Substanzen, wie Kohle, Schwefel und namentlich Quarzsand, häufig auch aus gröberen Stücken festen Materials wie Glasperlen.

Zu einer eigentlichen Kulturmethode ist diese Art die Pflanzen zu erziehen, die ja zur Beantwortung vieler in sehr kurzen Vegetationsperioden zu lösender Fragen, wie nach der Assimilation des freien Stickstoffs und dergl. von sehr vielen Forschern angewandt worden ist, nur von Salm Horstmar*) u. Hellriegel**) ausgebildet worden.

*) Journ. f. pr. Chemie. B. 46. p. 193; B. 52. p. 1; B. 54. p. 129; B. 61. p. 149; B. 64. p. 1; B. 73. p. 790 u. B. 84. p. 140.

**) Landw. Versuchsst. 1868. p. 103 u. 1869 p. 136.

Von diesen Forschern ist es bei Verfolgung dieser Art der Pflanzenkultur in vielen Fällen zu einem normalen Gedeihen der Gewächse bis zur Vollendung aller Vegetationserscheinungen gebracht worden. Dass die Methode Schwierigkeiten zeigen musste, deren Ueberwindung gerade wie bei der Wasserkultur Zeit und Geduld in Anspruch nahm, geht aus dem wiederholt betonten Umstand hinlänglich hervor, dass dieselbe nur in sofern sich vor der Wasserkultur auszeichnet, als einige wenige physikalische Eigenschaften des Bodens bei derselben nachgeahmt sind, alle übrigen Missstände der Veränderung der Concentration der Lösung etc. etc. während der Dauer der Vegetation von ihr getheilt werden.

Wenn es gilt die Vortheile und Nachtheile der Salm Horstmar-Hellriegel'schen Kulturmethode gegen jene andere des rein flüssigen Mediums abzuwägen, so kann zu Gunsten der ersteren neben der etwas grösseren Annäherung an die natürlichen Verhältnisse des gewöhnlichen Bodens hervorgehoben werden, dass es bei derselben möglich ist, auch Beobachtungen anzustellen, über den Einfluss verschiedener Wassermengen, die der Pflanze zur Verfügung stehen, auf die Ausbildung derselben, ohne dabei die Concentration der dargebotenen Lösung zu ändern. Durch unvollkommenes Anfeuchten des das Gerüst des Bodens bildenden Pulvers, wobei alsdann ein Theil der Zwischenräume desselben mit Luft gefüllt ist, kann eine Verminderung der Zufuhr von Wasser bewirkt werden, eine Möglichkeit, die offenbar in dieser Form bei der Wasserkultur ausgeschlossen bleibt. Als Mangel dagegen jener Methode ist vielleicht die geringere „Durchsichtigkeit“ derselben zu nennen, die manche Vorgänge in der Nährstofflösung und an dem Wurzelsystem verhüllt, die bei der reinen Wasserkultur offen zu Tage liegen. — Beide Methoden sind aber vollständig brauchbar und in den Hauptstücken einander gleichwerthig.

Ueber die Ausführung der Salm Horstmar-Helriegel'schen Kulturmethode ist Wenig mehr hinzuzusetzen. Von Hellriegel wurde als fester Bestandtheil des Bodens bisher reiner mit Schwefelsäure ausgekochter und durch Glühen auch von allen organischen Resten befreiter Quarzsand benutzt, der nur noch sehr geringe Mengen von Chlor und Eisen *) enthielt. **) Diesem Quarzsande wurden dann die Nährstofflösungen zugemischt. Salm Horstmar hat als festen Bestandtheil des Bodens Zuckerkohle ***), gereinigten Quarzsand, feingepulverten Bergkrystall u. dgl. gewählt. Die Gefässe, die er zu den Vegetationsversuchen anwandte, bestanden aus Zinn und waren mit Wachs überzogen, damit die Wurzeln nicht fähig waren durch Einwirkung auf gläserne Gefässwandungen sich mineralische Stoffe anzueignen.

Ueber die Resultate, die in Bezug auf die Entbehrlichkeit oder Nothwendigkeit der einzelnen Elementarstoffe der Asche, wie man sie nach der Verbrennung der organischen Theile der Pflanzen antrifft, durch die eben ihrem Wesen nach angedeuteten Kulturmethoden erlangt worden sind, werden wir in der nächsten Vorlesung zu reden haben.

---

*) Landw. Versuchsst. 1868. p. 104.

**) Von Hellriegel wurde die Methode allerdings nicht zu der Beantwortung der uns vorliegenden mehr elementaren Frage des Bedarfs der Pflanzen an einzelnen Stoffen benutzt.

***) Journ. f. pr. Chem. B. 64. p. 193.

Fünfzehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandtheile der Pflanze. — Die Metalloïde der Pflanzenaschen.

Wir haben in der letzten Vorlesung gelernt, welche Methode allein gewählt werden kann, zur Beantwortung der uns gestellten Frage, nach der *Nothwendigkeit* oder *Entbehrlichkeit der einzelnen Aschenbestandtheile.* Jeder für den Organismus einer Pflanze unentbehrliche mineralische Bestandtheil muss in der Asche dieser Pflanze aufgefunden werden können, aber unmöglich kann umgekehrt jeder Bestandtheil dieser Asche ein unentbehrlicher Nährstoff sein.

Die Methode, die allein zum Ziele führen kann, ist daher nicht die analytische, sondern jene der künstlichen Kultur, die man auch die „synthetische" genannt hat. Jene kann uns nur Anhaltspunkte geben, niemals aber als Beweismittel dienen, — ist aber in dieser ersteren Eigenschaft wichtig genug. Der Weg, der zur Lösung der Frage stets eingeschlagen worden ist und auch von uns in unserer Behandlung verfolgt werden soll, ist zweckmässig der, dass man von der Analyse der Pflanzenasche ausgeht und die so gefundenen Aschenbestandtheile einzeln bei der Kulturmethode auf ihre Entbehrlichkeit prüft, und nicht etwa planlos gleich mit der synthetischen Methode beginnt, indem man alle möglichen chemisch bekannten Stoffe auf ihre Bedeutung als Nährstoffe durchprobirt.

Der künstliche Kulturversuch wird dann weiter unter allen Umständen, um möglichst rasch und unzweideutig zum Ziele zu führen, nach der *Differenzmethode* unternommen werden müssen, d. h. jede einzelne Frage wird durch Versuche entschieden werden müssen, die paarweise angestellt werden, so dass immer ein Versuch vom andern sich durch kein anderes Moment als das Fehlen des in seiner Eigenschaft als Nährstoff fraglichen Stoffes unterscheidet, wie dies ja aus den bekannten Grundsätzen der experimentellen Forschung hervorgeht.

Auf diese Weise ist der vor uns liegende Plan klar verständlich, und es ist ebenso einleuchtend, dass wir mit einer Betrachtung der als Bestandtheile der Pflanzenaschen gefundenen chemischen Grundstoffe beginnen müssen, und dann zu sehen haben, welcher dieser Bestandtheile sich bei dem Vegetationsversuch als unnütz, welcher als nothwendig sich ergibt.

In der Asche von Pflanzen sind überhaupt schon gefunden worden ungefähr folgende Stoffe:*)

*) Es ist hierbei zu erwähnen, dass nicht jede Methode der Aschedarstellung alle hier als Aschenbestandtheile bezeichneten Stoffe zu gewinnen möglich macht. So wird z. B. bei dem unvorsichtigen Einäschern von Pflanzenorganen, die einen so grossen Gehalt an Phosphor im Verhältniss zu den vorhandenen Basen haben, dass in der Glühhitze sich saure Phosphate bilden, aller Schwefel verloren gehen können, nemlich als freie Schwefelsäure entweichen. Aus diesem Grunde werden bei der Einäscherung allerlei Massregeln zur Verhütung derartiger Verluste vorgeschlagen und beobachtet. Aber aus demselben Grunde ist der Schwefel nicht immer als den Aschenbestandtheilen zugehörig betrachtet worden. Vergl. J. Sachs: Handbuch der Experim. Physiol. d. Pfl. p. 141.

Von *Metalloïden*, ausser dem *Sauerstoff*, der mit den meisten andern Elementarbestandtheilen der Asche Verbindungen in derselben bildet, und über dessen Ursprung wir durch die früher angestellten Betrachtungen hinreichend Auskunft erhalten haben:

Schwefel, Phosphor, Silicium, Bor, Chlor, Brom, Jod und *Fluor,* also so ziemlich alle.

Von *Metallen* nur eine beschränktere Anzahl, nemlich:

Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium, Magnesium, Calcium, Barium, Strontium, Eisen, Aluminium, Zink, Mangan, Kobalt, Nickel und *Kupfer.*

Einzelne von diesen Stoffen sind nur in überaus seltenen Fällen gefunden worden; folgende aber unter allen Umständen oder wenigstens fast in jeder eingeäscherten Pflanze und beinahe in jedem Pflanzentheil: *Schwefel, Phosphor, Silicium, Chlor; Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium* und *Eisen*; ferner sehr häufig, aber mehr in einzelnen Pflanzenarten oder gewissen Organen: *Jod, Fluor, Aluminium* und *Mangan.* Alle übrigen sind von ganz vereinzeltem oder äusserst sparsamem Vorkommen.

Est ist natürlich, dass man bei den Kulturversuchen von den allgemeinst verbreiteten Stoffen ausging, aus diesen Nährstofflösungen componirte und durch Weglassen einzelner Stoffe aus diesen Lösungen diese auf ihre Bedeutung für das Pflanzenleben prüfte. Für die andern Stoffe war ja schon durch den analytischen Befund ihre häufige Entbehrlichkeit bewiesen.

Allein es handelte sich nun darum, die passende chemische Form aufzufinden, in der die Stoffe allein der Pflanze verabreicht werden konnten. Die Aschenanalyse gab hierüber keine Auskunft. Man schloss sich zwar in der Wahl der chemischen Verbindungen, in welchen man die betreffenden Stoffe der Pflanze verabreichte, insofern einiger Massen an die Natur an, als man sich, so weit es möglich war, an die chemische Form hielt, in der die Aschenbestandtheile im fruchtbaren Erdreich vorzukommen und dort mit der Pflanzenwurzel in Berührung zu kommen pflegen. Dennoch hat in der Auffindung der passenden Verbindungen ein grosser Theil der Schwierigkeiten gelegen, die man bei der Ausbildung der Kulturmethoden zu überwinden hatte. Namentlich mussten sich solche Schwierigkeiten bei der Differenzmethode, die zur Beantwortung der uns beschäftigenden Fragen allein gewählt werden konnte, geltend machen, da, wenn man irgend einen der Grundstoffe aus einer Nährstofflösung, die fähig war, eine Pflanze vollkommen normal zu ernähren, weglassen wollte, man zugleich die neutrale Reaktion, wie sie wenigstens annähernd von der Pflanze gefordert wird, nothwendig stören musste. Wollte man z. B. aus einer Lösung, mit der bis dahin gute Erfolge erzielt worden waren, das Natrium weglassen, so war dies nicht möglich, ohne die Menge eines Metalloïds gleichfalls zu vermindern, oder die eines andern Metalls zu vermehren, wollte man nicht die Nährstofflösung stark sauer werden sehen, und umgekehrt. — Man ersieht aus diesem Verhältniss, dass eine ganz exakte Differenzmethode, wo bei beiden zu vergleichenden Versuchen gar Nichts verschieden sein darf, als das eine auf seine Wirksamkeit zu prüfende Moment, im vorliegenden Falle eine Unmöglichkeit ist. Man sah sich so vielfach bei Anstellung der entscheidenden Experimente gezwungen, neben zwei solchen Versuchen noch eine dritte Klasse in die Versuchsreihen aufzunehmen, worin

die Unschädlichkeit der nothgedrungen getroffenen Aenderung in den Verhältnissen der übrigen erwiesen wurde u. s. f., um so indirekt dennoch den Schluss auf die Unentbehrlichkeit jenes ersten weggelassenen Stoffes machen zu können. Es ist aber hieraus klar, dass die Beweisführung nicht immer ganz unzweideutig sein konnte, und dass manchmal sich lebhafte Widersprüche gegen deren Stichhaltigkeit erheben mussten.

Aber nicht blos aus den hier angeführten Gründen werden wir sehen, dass über die Bedeutung mancher mineralischen Bestandtheile noch nicht endgültig geurtheilt werden kann, trotzdem dass viele und aufmerksam angestellte Versuche vorliegen; es gibt noch andere Ursachen, warum über die Entbehrlichkeit oder Unentbehrlichkeit eines Aschenbestandtheils in einzelnen Fällen noch nicht endgiltig abgesprochen werden kann. Diese sind die Ungleichwerthigkeit dieser einzelnen Bestandtheile für den pflanzlichen Organismus und die ausserordentlich verschiedenen Mengen, in denen dieser jener Stoffe bedarf.

Ich möchte hier darauf hindeuten, dass, wenn irgend ein mineralischer Bestandtheil einer Pflanze für diese unentbehrlich ist, — sie also stirbt, sobald sie diesen Stoff nicht in aufnehmbarer Form in ihrer Umgebung antrifft, man doch den Grund dieses Sachverhalts einzig darin suchen kann, dass ein solcher Stoff *bei irgend einem physiologischen Process,* dessen Verlauf zur Erhaltung des Lebens der Pflanze aus irgend einem tiefer liegenden, für uns einstweilen gleichgültigen Grunde *nothwendig ist, eine Rolle spielt*, welche durch einen andern Stoff nicht übernommen werden kann. Wenn nun ein solcher Process nur in verhältnissmässig kleinen Dimensionen verläuft, oder wenn der bei dessen Verlauf betheiligte Aschenbestandtheil nur in kleinen Mengen in diesen Process eintritt, so kann die Menge eines solchen Stoffes, deren die Pflanze nothwendig bedarf, ziemlich klein sein und möglicherweise in die Grenzen unserer Versuchsfehler fallen; d. h. wir bemerken seine Unentbehrlichkeit nicht, weil die Mengen, die durch Unreinigkeit der verwendeten Materialien, durch den Gehalt des ausgelegten Samens, durch Staub etc. zu der Versuchspflanze gelangen, für das geringe Bedürfniss genügen.

Ebenso ist es theoretisch denkbar, dass manche physiologische Processe, die an die Anwesenheit eines Aschenbestandtheils unabänderlich geknüpft sind, nicht nothwendig vollzogen werden müssen, damit die Pflanze ein normales Gedeihen *) zeige, die aber derselben in mehr oder minder erheblichem Grade nützlich sind, und vielleicht nur unter ganz bestimmten Ernährungsverhältnissen sich unentbehrlich zeigen. In einem solchen Falle wird der Versuch nach der Differenzmethode die Förderlichkeit des Zusatzes mancher Aschenbestandtheile bei mehr oder weniger vollständiger Entbehrlichkeit derselben ergeben. — Es ist theoretisch fast selbstverständlich, dass man neben *unentbehrlichen Mineralstoffen* auch *nützliche* zu unterscheiden haben wird.

Aus den gemachten Mittheilungen ist die mögliche Schwierigkeit einer klaren Deutung mancher Resultate der in der besprochenen Richtung angestellten Kultur-

*) Bei den Thieren gibt es bekanntlich derartige Processe, wie die Gallenabsonderung in den Darmkanal, die vollständig unterbrochen werden kann, ohne dass das Thier bei zweckmässiger Ernährung erheblich leidet.

versuche ersichtlich. — Dennoch ist es gelungen, in den meisten Fällen durch energisches Fortsetzen der experimentellen Fragestellung zu ganz feststehenden Resultaten zu gelangen, und sogar ein guter Theil unserer Düngerlehre beruht auf den Resultaten dahin gerichteter Arbeiten.

Wenn nun diese Resultate in Folgendem einfach und ohne auf die unerquicklichen Details der Beweisführung einzugehen, mitgetheilt werden sollen, so ist noch hervorzuheben, dass — und dies geht in gleicher Weise aus den theoretischen Anschauungen über die Bedeutung der Aschenbestandtheile hervor — der Bedarf einer Pflanze an mineralischen Stoffen von vorneherein nicht massgebend sein kann*) für den einer andern noch so nahestehenden. — In verschiedenen Pflanzenarten können im Allgemeinen immer neben einer Reihe für beide gemeinsam stattfindender physiologischer Processe auch einzelne nur für eine oder die andere Bedeutung habende vor sich gehen. Sehen wir ja doch in manchen Pflanzenarten organische Verbindungen auftreten, die andern nahe verwandten völlig fremd sind, und so sich Funktionen vollziehen, die in andern nicht ausgeübt werden können etc. Da wir nun die Meinung hegen müssen, dass die nothwendigen oder nützlichen Aschenbestandtheile zu solchen einzelnen Processen in Beziehung stehen, so wird auch voraussichtlich das Aschenbedürfniss für verschiedene Pflanzenformen ein verschiedenes sein und um so mehr von einander abweichen, je grössere Unterschiede in der ganzen Organisation und Lebensweise zweier zu vergleichender Pflanzenformen bestehen.

Wir werden später sehen, in wie weit sich diese Voraussetzung bestätigen wird, vorerst mag es genügen darauf hinzudeuten, wie ungerechtfertigt es im Allgemeinen ist, von dem bekannten Bedürfniss einer Pflanze auf das Stoffbedürfniss einer andern einen Schluss zu machen. Vielmehr werden wir es der experimentellen Forschung überlassen müssen zu ermitteln, über wie grosse Pflanzengruppen sich eine gewisse Gleichförmigkeit des Bedürfnisses nach mineralischen Bestandtheilen erstreckt.

In unserer Rekapitulation der experimentellen Beweisführung**) wird nun zunächst Ausgang genommen werden von der genannten Stoffgruppe, die den durchschnittlichen analytischen Befund in der Asche der höheren grünen Pflanzenwelt repräsentirt. Diese ist: Schwefel, Phosphor, Silicium, Chlor; Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium und Eisen.

Alle Vegetationsversuche mit höheren Pflanzen, die unter Ausschluss von *Schwefel* angestellt worden sind, haben das gleiche Resultat der vollen *Unentbehrlichkeit* dieses Elementes ergeben. Mehr oder minder bald zeigten alle Pflanzen,

*) Nachdem einmal eine grössere Reihe von Versuchsresultaten gesammelt worden ist, lassen sich derartige Schlüsse aus der Analogie allerdings in vielen Fällen machen.

**) Vergl. Salm-Horstmar: Journal f. prakt. Chemie. B. 46 p. 193; B. 52 p. 1; B. 54 p. 129; B. 61 p. 149; B. 64 p. 1; B. 73 p. 790 u. B. 84 p. 140; J. Sachs: Landw. Versuchsst. 1860 p. 22 u. 219; 1861 p. 30; Knop: Landw. Versuchsst. 1860 p. 65 u. 270; 1861 p. 295; 1862 p. 173; 1865 p. 341, ferner dessen Lehrbuch: der Kreislauf des Stoffs p. 604—634; Stohmann: Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 121 p. 323; Landw. Versuchsst. 1864 p. 347; Nobbe u. Siegert: Landw. Versuchsst. 1862 p. 318; 1863 p. 116; 1864 p. 19 u. 108; 1865 p. 371; Rautenberg u. G. Kühn: Landw. Versuchsst. 1864 p. 355; Lucanus ebenda 1865 p. 363 u. f. etc. etc.

die in schwefelfreien Lösungen gezogen worden waren, eine höchst mangelhafte Ausbildung und konnten es niemals zu einer erheblichen Produktion von organischer Substanz bringen.

In Bezug auf die chemische Form, in der dieser Stoff der Pflanzenwurzel dargeboten werden muss, kann mit voller Bestimmtheit ausgesprochen werden, dass nur die schwefelsauren Salze von Basen, die gleichfalls unentbehrliche Pflanzenbestandtheile sind oder wenigstens sich als unschädlich erwiesen haben, also das schwefelsaure Ammoniak und Kali, die schwefelsaure Magnesia, der schwefelsaure Kalk, in zweiter Linie dann auch das schwefelsaure Natron der Pflanze ihren Schwefel zu liefern vermögen. Der unverbundene Schwefel, die Schwefelmetalle, schwefligsauren Salze, unterschwefligsauren Salze und die vielen andern Schwefelverbindungen, welche sauerstoffärmer als die Sulfate sind, können nicht zur Ernährung der Pflanze dienen, sondern erweisen sich alle mehr oder minder *schädlich* für das Pflanzenleben. Nur die sauerstoffreichsten Schwefelverbindungen, die genannten schwefelsauren Salze und zwar die neutralen schwefelsauren Salze sind die Form, in welcher der Wurzel der höheren grünen Pflanze der Schwefel dargeboten werden muss. *)

Wenn es sich nun darum handelt, den so allgemeinen Bedarf der Pflanzenwelt an Schwefel seiner Ursache nach zu ergründen, so erinnern wir uns sogleich, dass ja die Proteïnstoffe, deren Bedeutung für den pflanzlichen Organismus uns schon früher bekannt geworden ist, sammt und sonders schwefelhaltig sind, 1 % oder Etwas weniger von diesem Elemente enthalten. Diese Proteïnstoffe vermehren sich aber nothwendig während der Entwickelung der Keimpflanze zu einem vollständig ausgebildeten Gewächs, und wie aus diesem Grunde eine fortwährende Stickstoffzufuhr während dieser Entwicklung nothwendig ist, so muss auch fortwährend neuer Schwefel in die Pflanze gelangen. Dieser wird durch die Wurzeln als schwefelsaures Salz aufgenommen und erleidet durch einen uns gänzlich unbekannten chemischen Process in der Pflanze eine Reduktion, um dann einen Bestandtheil der sauerstoffarmen Proteïnstoffe zu bilden.

Es gibt nun ausser den Proteïnkörpern noch einige andere, wenn auch nur ganz vereinzelt vorkommende schwefelhaltige organische Verbindungen in manchen Pflanzen. Die scharfen ätherischen Oele, die dem *Senfsamen*, dem *Meerrettig*, dem *Knoblauch* und andern Pflanzen und Pflanzentheilen **) ihren scharfen Geschmack ertheilen, sind schwefelhaltige Verbindungen von der Constitution eines gewöhnlichen Aethers, in dem der Sauerstoff durch Schwefel vertreten ist. ***) Auch dieser Gehalt an Schwefel muss von den betreffenden Pflanzen von Aussen in Form von schwefelsauren Salzen aufgenommen werden. — Ob noch der Schwefel ausser dem Eintritt in die genannten Substanzen andere Funktionen im pflanzlichen Organismus zu vollziehen hat, ist unbekannt. Jedenfalls genügt die zuerst hervorgehobene Beziehung, um seine Unentbehrlichkeit zu erklären und den ganz allgemeinen Bedarf

*) Schleiden hatte eine Zeit lang den Schwefelwasserstoff als Schwefelquelle der Pflanze bezeichnet.

**) Z. B. der Asa foetida, einer ganzen Reihe von Cruciferen.

***) Das Knoblauchöl ist Schwefelallyl $S\left\{\begin{matrix}C_3H_5\\C_3H_5\end{matrix}\right.$, das Senföl ist Allylrhodanür $S\left\{\begin{matrix}C_3H_5\\CN\end{matrix}\right.$

an Schwefel begreiflich zu machen. Manche Pflanzen, wie namentlich Seegewächse und Equisetaceen enthalten grosse Mengen von schwefelsauren Salzen, ohne dass aber bis jetzt ein Grund dafür geltend gemacht werden konnte, dass diese Salze nützlich für die Pflanzen, in denen sie angetroffen werden, sind. Wir werden später beim Studium der Gesetze der Stoffaufnahme noch deutlicher sehen, dass eine solche Anhäufung nicht nothwendig, einen Nutzen bedeutet, den die betreffenden Stoffe für den Organismus haben.

Auch unter allen den vielen anderen Organismen (die in dieser Richtung ziemlich vollständig auf ihre Ernährung geprüft worden sind) gibt es kaum welche, für die der Bedarf an Schwefel in Zweifel *) gezogen worden wäre; sicher bewiesen ist dessen Entbehrlichkeit für keinen einzigen. Es braucht aber kaum hinzugesetzt zu werden, dass die Aufnahme des Schwefels bei den verschiedenen Organismen in sehr verschiedener chemischer Form geschieht. Diejenigen, welche wie die Thiere die Proteïnstoffe nicht in sich zu bilden im Stande sind, sondern dieselben nothwendig von Aussen aufnehmen müssen, beziehen natürlich gleich in dieser Form ihren Schwefel wie ihren Stickstoff und scheinen diese Elemente im Uebrigen entbehren zu können. Aber auch niedrige chlorophylllose pflanzliche Organismen, die wie die alkoholische Hefe proteïnartige Stoffe in sich zu erzeugen und den hiezu nothwendigen Schwefel in Form von schwefelsauren Salzen zu assimiliren vermögen, sind vielleicht im Stande, diesen Schwefel auch in Form von Stickstoff- und Schwefel-haltigen organischen **) Stoffen (die indessen keine Proteïnstoffe sind) aufzunehmen.

Ein zweiter metalloïdischer Elementarbestandtheil der Pflanzenasche, der *Phosphor,* ist bei allen Vegetationsversuchen ebenso *unentbehrlich* für die Pflanzen gefunden worden wie der Schwefel. Es ist noch nie gelungen, nicht blos eine höhere grüne Pflanze, sondern ebensowenig irgend einen andern Organismus in normaler Weise fortzubringen, wenn der Phosphor unter den Nährstoffen, die zugeführt wurden, fehlte.

Wie der Schwefel der höheren chlorophyllhaltigen Pflanze nur in Form von schwefelsauren Salzen zugeführt werden darf, so muss auch der Phosphor in der höchst oxydirten Verbindung, in Gestalt der phosphorsauren ***) Salze dargeboten werden. Freier Phosphor, Phosphorwasserstoff, Phosphormetall, phosphorigsaure und unterphosphorigsaure Salze können nicht zur Ernährung der Pflanze dienen, sind vielmehr wie die entsprechenden Schwefelverbindungen grossentheils heftige Gifte für das Pflanzenleben.

Die assimilirbaren phosphorsauren Salze sind entweder die an und für sich in Wasser löslichen, des Ammoniaks, des Kali und des Natrons oder die, welche erst

*) Vergleiche übrigens meine Abhandlung: Landw. Versuchsst. 1869 p. 443—61.

**) Nach (noch nicht veröffentlichten) Versuchen von mir, kann in Zuckerlösungen intensive Gährung und üppige Hefebildung nach minimaler Hefeaussaat veranlasst werden, wenn neben Pepsin, das nach der gewöhnlichen Darstellungsweise sehr schwefelhaltig ist, schwefelfreie Aschenbestandtheile verabreicht werden, so dass sich für die Ernährung dieser Organismen sehr complicirte Verhältnisse herausstellen.

***) Natürlich der gewöhnlichen dreibasischen Phosphorsäure.

mit Hülfe von Kohlensäure, oder anderen Salzen, wie Nitraten, Ammoniaksalzen, *) Kochsalz oder endlich durch die lösende Kraft der Wurzel selbst in Auflösung gebracht werden können: der phosphorsaure Kalk, die phosphorsaure Magnesia und das phosphorsaure Eisen-oxyd oder -oxydul. Sowohl die sauren Salze der dreibasischen Phosphorsäure, als solche wo 2 oder 3 Basicitäten gesättigt sind, können als Pflanzennährstoffe dienen, und scheint es, ob das eine oder das andere die tauglichere Form ist, wesentlich auf die Natur der Basis anzukommen. So ist das saure phosphorsaure Kali, in welchem Salze nur eine Basicität der Phosphorsäure gesättigt ist, eine vortreffliche Form für den zu assimilirenden Phosphor; aber ebenso kann auch das gewöhnliche phosphorsaure Natron, in dem zwei Basicitäten, der dreibasisch phosphorsaure Kalk **), in welchem Salze 3 Basicitäten der Phosphorsäure gesättigt sind, als passendes Nährmittel dienen. Doch ist es natürlich nicht immer möglich auszusagen, in welcher Form die Aufnahme geschieht, da in einer complicirt zusammengesetzten Lösung mannigfache Umsetzungen möglich sind, und in Bezug auf eine solche überhaupt eigentlich nicht von der näheren Gruppirung der einzelnen Säuren und Basen gesprochen werden kann. Die gemachten Angaben beziehen sich daher mehr auf die Form, in der man nach den bisherigen Erfahrungen den Phosphorzusatz zu den Nährstofflösungen vornehmen kann.

Auch über den Sinn des Bedarfs der Organismen an Phosphor wissen wir Einiges anzugeben. Einmal zeigen die Proteïnstoffe nach vielen Angaben neben dem Gehalt an Stickstoff und Schwefel auch noch häufig geringe Mengen von Phosphor; und wenn es auch gelingen mag, künstlich die Proteïnstoffe so zu reinigen dass sie den Phosphorgehalt vollständig verlieren, ohne desshalb an ihren Eigenschaften Etwas einzubüssen, der Phosphor also mit andern Worten nicht, als mit zur Constitution der Proteïnsubstanzen gehörig, betrachtet werden darf, so geht doch noch aus ganz andern Beobachtungen die innige Beziehung des Phosphors zu den Proteïnstoffen im Organismus hervor. Sowohl im Thiere als in der Pflanze zeigen Phosphor und die eiweissartigen Stoffe eine gewisse Zusammengehörigkeit, die auf die chemische Verbindung dieser Stoffe schliessen lässt, wenn es auch nicht gelingt Etwas von derartigen Verbindungen bei unserer Reindarstellung der in denselben enthaltenen Stoffe zu bemerken.

Als derartige Beobachtungen sind zu nennen: die von *W. Mayer* aufgefundene Beziehung ***) zwischen dem Stickstoffgehalt (Proteïngehalt) von Getreidekörnern

*) Vergl. z. B. J. Liebig: Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 61 p. 208 und ebenda B. 106 p. 185 und besonders p. 193—195, an welchem Orte die Wirkung dieser Salze als Düngemittel, wesentlich in ihrer Eigenschaft als Lösungsmittel gesucht wird.

**) Bei der Aufnahme der Phosphorsäure aus phosphorsaurem Eisenoxyd durch direkte Wurzelthätigkeit ist der Vorgang wieder ein anderer. Dort spielt die Wurzel eine selbständige Rolle und zerlegt die ihr dargebotene Verbindung, um aus derselben vorzugsweise Phosphorsäure zu assimiliren, wie aus der Braunfärbung der auf die Wurzeln bei der Wasserkultur aufgeschlemmten Verbindung hervorgeht.

***) Auf 1 Theil Phosphorsäure ward gefunden Stickstoff: Im Roggen 2,0—2,4, im Weizen 1,8—2,2, im Hafer ebenso, in der Gerste 1,8—2,1, im Spelz 2,1—2,3, in den Erbsen 3,3—4,1 Theile (vergl. Jahresbericht für Chemie 1857 p. 338). Es darf indessen wegen der

und andern Samen zu deren Reichthum an Phosphorsäure, wodurch eine gewisse Abhängigkeit zwischen der *Bildung und Aufspeicherung der Proteïnstoffe der Samen* und dem *Vorhandensein von Phosphorsäure* wahrscheinlich gemacht wird,*) wenn auch (siehe die Anmerkung) der Befund nicht für eine chemische Verbindung, in der die beiden Stoffe noch zur Zeit der Samenreife verbleiben, spricht.

Aehnliche Beobachtungen sind überhaupt vielfach für die Pflanze gemacht worden. Man hat häufig darauf aufmerksam gemacht, dass aus Pflanzenorganen, aus denen z. B. die Proteïnstoffe auswandern **), auch die Phosphorsäure verschwindet, so dass die beiden als unzertrennliche Begleiter im Organismus anzusprechen sind***), wenn auch ein genau gleichbleibendes Verhältniss †) sich nicht in jedem einzelnen Falle feststellen lässt. Jeder protoplasmatische Zellsaft enthält auch erhebliche Mengen von Phosphor, und ältere Gewebe, die nicht mehr reproduktionsfähig sind, und aus denen jene Proteïnsubstanzen verschwunden sind, kann man auch als verarmt an Phosphor betrachten, und jedenfalls wird dies Verhalten noch einst zur Aufklärung der Funktionen, um derentwillen dieses Element unentbehrlich für die Organismen ist, beitragen.

Noch konstanter scheinen die Beziehungen zwischen Phosphor und Proteïnstoffen im Thiere zu sein, und es ist desshalb nothwendig dieser Thatsache hier zu erwähnen. Es ist vor nicht langer Zeit durch einen Schüler *C. Voits* ††) nachgewiesen worden, dass im Leibe des Hundes bei Fleischkost oder im Hungerzustande (die ja auch eine andere Fleischkost ist) fast genau proportionale Mengen von Stickstoff und Phosphor im Harne ausgeschieden werden, und zwar in demselben Verhältniss, wie sie schon im gefütterten Fleische vorhanden waren, so dass man (bei Zunahme des Körpergewichts) auf einen *gleichmässigen* Ansatz der Proteïnstoffe und des im Fleische enthaltenen Phosphors schliessen darf.

So scheint der Phosphor (oder wie man sich gewöhnlich ausdrückt, die Phosphorsäure) von der Entstehung der Proteïnstoffe an in der Pflanze deren steter Begleiter †††) zu sein — in welcher chemischen Form, ist freilich unbekannt —, um mit

---

hieraus zu ziehenden Folgerungen nicht verschwiegen werden, dass in den zerkleinerten und durch die gewöhnlichen Methoden in einzelne Gewebeelemente gesonderten Körnern sehr veränderte Verhältnisse aufgefunden wurden; so in feinem Weizenmehl 1:10,1; in der Weizenkleie 1:1,5, wodurch die gemachte Schlussfolgerung natürlich schwer berührt wird.

Aehnliche Beobachtungen will Boussingault (Ann. de chim. et d. phys. B. 50 p. 479) schon vorher gemacht haben.

*) Auch die bekannte Erfahrung der praktischen Landwirthschaft, dass Schwere und Klebergehalt der Getreidekörner durch Phosphatdüngung gesteigert werden kann, ist hier als Beweismittel in derselben Richtung zu erwähnen.

**) Vergl. namentlich Corenwinder: Compt. rend. T. 50. p. 1135 u. Jahresber. f. Agrikulturchem. 1860—61. p. 30.

***) Vergl. auch Knop: Kreislauf des Stoffs. I. p. 677.

†) Vergl. auch Schröder (Landw. Versuchsst. 1868 p. 509, der die Verhältnisse zwischen Phosphorsäure und Stickstoff in den verschiedenen Theilen einer Keimpflanze (von Bohne) wie 1:1,73 bis 1:4,17 fand.

††) E. Bishoff: Zeitschr. f. Biologie 1867 p. 309—23.

†††) Ueber Wanderung der Aschenbestandtheile durch die Pflanze vergleiche namentlich die ausführliche Arbeit Arendt's: Landw. Versuchsst. 1859 p. 31—66.

ihnen gleichzeitig in den Reservestoffbehältern auf Lager gelegt, im thierischen Körper wieder mit den Proteïnstoffen als Fleisch angesetzt zu werden, und dann schliesslich durch den Stoffzerfall im thierischen Körper mit dem Stickstoff in ein gemeinschaftliches Grab zu sinken. *) Der Phosphorgehalt der gereinigten Proteïnstoffe im Verhältniss zum Stickstoff ist unter allen Umständen viel geringer, als der Phosphorgehalt selbst der an diesem Stoffe ärmsten proteïnhaltigen Pflanzen und Thiergewebe, so dass jener mehr wie ein Rest erscheint, den man durch die chemische Reinigung noch nicht zu entfernen vermochte.

So klar nun die beschriebene Beziehung in gewissen wohl zu beachtenden Grenzen experimentell dargelegt werden konnte, so ist damit natürlich noch kein Aufschluss über die eigentliche Ursache dieser Beziehung gegeben, und auf diesen Aufschluss werden wir auch wohl noch geraume Zeit zu warten haben **). Fruchtbar wird aber jedenfalls schon jetzt die Erkenntniss des besprochenen Verhältnisses für die landwirthschaftliche Praxis sein können, da in demselben die Beziehung eines einzelnen Düngestoffs zu einem werthvollen Produkt des Pflanzenbaus enthalten ist. Wir werden später auf diesen Gegenstand zurückkommen.

Die gegebenen Erörterungen erklären indessen einstweilen das so ausnahmslos für jeden Organismus nothwendige Vorhandensein des Phosphors unter seinen Bestandtheilen, denn jeder Organismus bedarf der eiweissartigen Stoffe unumgänglich nothwendig ***), und von diesen Stoffen ist der Phosphor in gewissen Mengen ein ganz unzertrennlicher Gefährte. Auch in Bezug auf die Quantität, in welcher der Phosphor in den Pflanzen auftreten muss, lässt sich aus dem Gesagten bereits ein Schluss machen, nemlich der, dass dieser Grundstoff in weit grösseren Mengen in der Pflanze vertreten sein wird, als der Schwefel. Der Phosphor, der in seinem Vorkommen an die proteïnhaltigen Pflanzenorgane geknüpft ist, steht (wie aus den in einer Anmerkung enthaltenen Angaben hervorgeht), zu dem Stickstoff dieser Organe in einem weit höheren Verhältnisse als der Schwefel, was auch aus dem ziemlich geringen Schwefelgehalt der Proteinstoffe sich leicht ergibt. Dasselbe bestätigt denn auch die Aschenanalyse in allen den Fällen, wo nicht durch eigenthümliche Verhältnisse Gelegenheit zur Anhäufung schwefelsaurer Salze von zweifelhafter Nützlichkeit gegeben ist. Eine übermässige Anhäufung von phosphorsauren Salzen in den Gewächsen scheint wegen des sehr sparsamen Vorkommens dieses Stoffs in den natürlichen Nährböden kaum vorzukommen.

*) Das Verhältniss, in dem Stickstoff und Phosphor in den proteïnhaltigen Thier- und Pflanzen-Organen zusammen auftreten, ist trotzdem ein sehr verschiedenes. Für die Pflanzen haben wir vorhin einige Angaben gemacht; die Zahlen waren, wie üblich, auf Phosphorsäure berechnet. Nach derselben Ausdrucksweise ist das Verhältniss im Fleisch, und wie es bei Fleischkost im Harn zur Ausscheidung gelangt, etwa 1:8, also weniger Phosphor als in den Pflanzenorganen. Daher verringert sich dieses Verhältniss im Hundeharn bei vorwiegender Brotkost und müsste noch tiefer sinken bei Kleienfütterung.

**) Die von Rochleder (vergl. dessen Phytochemie 1854 p. 337) betonte Beziehung, dass Proteïnstoffe in phosphorsauren Alkalien wie in freien Alkalien löslich sind, ist doch nur ein entfernter Fingerzeig.

***) Die früher erwähnte hier möglicher Weise bestehende Einschränkung verdient vorerst noch keine Berücksichtigung.

Andere Beziehungen des Phosphors zu bestimmten Funktionen im pflanzlichen Organismus konnten bisher nicht aufgefunden werden. Man müsste denn gerade eines phosphorhaltigen Oels Erwähnung thun, das in den Erbsen *) (und vielen andern Pflanzen **)) aufgefunden worden ist, von dessen Rolle in den Pflanzen aber ganz und gar Nichts bekannt ist.

Als drittem Metalloïd von sehr allgemeiner Verbreitung in den höheren pflanzlichen Organismen hätten wir vom *Silicium* zu reden. Dieser Aschenbestandtheil findet sich jedoch an ganz andern Orten angehäuft, wie die beiden eben behandelten Grundstoffe, nemlich nicht da, wo die Proteïnstoffe im pflanzlichen Gewebe vorhanden sind, sondern (wahrscheinlich stets in Form von Kieselsäure) der Zellhaut eingelagert. Und zwar sind es die älteren Zellhäute, die auch sonst durch Cuticularisirung (und Verholzung) mannigfache Abänderungen von der Beschaffenheit im neugebildeten Zustande, wo sie aus fast reiner Cellulose bestehen, erfahren haben, welche auch vorzugsweise zur Einlagerung von Kieselsäure, — zur Verkieselung ***) geneigt sind. Wir werden also das Silicium in der Pflanze mehr in den Organen, die keinen regen Stoffwechsel mehr unterhalten, zu suchen haben, d. i. in den älteren Blättern und Stengeln; wir finden es ferner in grosser Menge, wie in den sog. Spelzen und Grannen der Getreidearten, in Geweben, die mehr zum Schutze von anderen Pflanzentheilen †) dienen, selbst aber keiner Weiterentwickelung mehr fähig sind, während es in den eigentlichen Reservestoffbehältern und in der Nähe des Embryo z. B. in den geschälten Samen stets in zurücktretender Menge vorhanden ist.

Ferner sind gewisse Pflanzenfamilien oder Gattungen ganz besonders zur Anhäufung von Kieselsäure in ihren Geweben geneigt. So zeichnen sich die Gräser durch den Siliciumreichthum ihrer Asche aus. Das Stroh unserer Getreidearten enthält im Durchschnitt etwa 5 % Asche, wovon die Hälfte Kieselsäure ist, und die Spreu dieser Gewächse ist noch weit reicher daran. Noch mehr Silicium enthalten die Schachtelhalme mit etwa 20 % Asche, deren Hälfte als Kieselsäure ††) angesprochen werden darf. Aber auch gewisse niedrige chlorophyllhaltige Pflanzen, — einzellige Algen, Diatomeen genannt, enthalten grosse Mengen von Kieselsäure der Zellhaut eingelagert. Man kann diese niedlichen Gebilde, die gewöhnlich als Probeobjekte für feinere Mikroskope gebraucht werden, diese Navicula, Eunotia, Fragilaria, Synedra, und wie sie alle heissen mögen, der Glühhitze aussetzen und einäschern.

---

*) Knop: Landw. Versuchsst. 1859 p. 26.

**) Vergl. Töpler: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1861—62 p. 57.

***) Nur in seltenen Fällen scheint Kieselsäure ausserhalb der Zellhaut im Pflanzengewebe aufzutreten. Vergl. J. Sachs: Handb. d. Experim. Phys. d. Pfl. p. 153.

†) Es scheinen überhaupt mehr die nach Aussen hin liegenden Gewebetheile zu sein, dieselben, die auch im Allgemeinen zur Cuticularisirung geneigt sind, in deren Zellhäuten die Kieselsäure sich einlagert. Das Holz unserer Bäume scheint in der Regel nicht reich an Silicium zu sein. Vergl. Liebig: Die Chemie etc. 1862. I. p. 342—419. Auch auf die Untersuchungen Wicke's (Jahresber. f. Agrikulturchem. 1861—62 p. 65) ist hier aufmerksam zu machen.

††) Daher die Verwendung des gewöhnlichsten Schachtelhalms (Equisetum hiemale als Polirmittel.

ohne dass sie im Wesentlichen ihre Form verändern. Es bleibt ein Aschenskelett übrig, das fast ganz aus Kieselsäure *) zu bestehen scheint, und noch so vollkommen dem zerstörten Organismus gleicht, dass man die feine Zeichnung, welche die Zellhaut solcher Diatomeen durchgehends charakterisirt, noch mit derselben Klarheit wie vorher erkennen kann. **)

In geringeren Mengen findet sich nun die Kieselsäure auch in den Geweben fast aller übrigen unter natürlichen Verhältnissen gewachsenen Pflanzen mit grosser Regelmässigkeit, und man würde aus der Aschenanalyse allein (wenigstens aller höheren Pflanzen) ganz unbedenklich auf die Unentbehrlichkeit dieses Bestandtheils geschlossen haben.

Als man nun die Frage nach der Bedeutung des Siliciums für das Pflanzenleben nach der synthetischen Methode in Angriff nahm, da zeigte sich — was man nach jenen Resultaten der Aschenanalyse nicht erwartet hatte —, dass der Kieselsäure, die man den Nährstofflösungen zusetzte, jedenfalls nur eine untergeordnete Bedeutung zukäme. Während man früher neben Kalk- und Kali-Pflanzen von *Kiesel-Pflanzen* gesprochen hatte und unter dieser Bezeichnung Gewächse verstand, die einen erheblichen Reichthum von assimilirbaren Silicaten im Boden voraussetzten, ***) fand man jetzt, dass es vortrefflich gelang, verschiedene unter gewöhnlichen Umständen sehr siliciumreiche Pflanzen in Nährstofflösungen zu erziehen, die gar keine Spur von Kieselsäure enthielten, ohne dass die Ausbildung der so gezogenen Pflanzen irgend welche Anomalien zeigte; und wenn es auf diese Weise auch nicht *vollständig* gelang, das Silicium auszuschliessen, da eine geringe Menge aus dem ausgelegten Samen und den meistens aus Glas bestehenden Gefässwandungen in die sich entwickelnde Pflanze gelangen konnte, so war doch die Verminderung des Siliciumgehalts gegenüber jenem, der in den unter gewöhnlichen Verhältnissen wachsenden Pflanzen der gleichen Art regelmässig gefunden wird, so gering, dass auf eine völlige Entbehrlichkeit des Siliciums für viele unserer kieselreichsten höheren Gewächse geschlossen werden durfte. So gelang es mit Hülfe der Wasserkultur normal gebildete Maispflanzen zu erziehen, deren Asche nicht ein Procent Kieselsäure †) enthielt, während man unter gewöhnlichen Ernährungsverhältnissen durchschnittlich etwa 20 % Kieselsäure in der Asche der genannten Pflanze findet. Ganz dieselben Resultate hat man für die noch siliciumreicheren Gramineen, für Weizen, Hafer und Gerste ††) erhalten, und so scheint der Satz von der Entbehrlichkeit des in Rede stehenden Grundstoffs wenigstens für die höheren Pflanzen ein ziemlich allgemeiner zu sein. †††)

---

*) Die ausgedehnten Ablagerungen von Kieselsäure, die Kieselguhr, Tripel und Polirschiefer genannt werden, bestehen wesentlich aus den unverweslichen Theilen von Diatomeen, früher auch als Infusorienpanzer bezeichnet.

**) Ueber die Verkieselung von Baumrinden vergl. Wicke: Jahresber. f. Agrikulturchemie 1862 63 p. 68.

***) Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc. 1862. I. p. 212 u. ff. besonders p. 216.

†) J. Sachs: Handbuch d. Experim. Phys. d. Pfl. p. 151.

††) Knop: Kreislauf des Stoffs. I. p. 221.

†††) Ob die Schachtelhalme der Kieselsäure entbehren können, ist ungewiss, ob die

So lange man an die Unentbehrlichkeit des Siliciums für die Gramineen glaubte, war eine Theorie über die Art und Weise von dessen Nützlichkeit gang und gäbe, die natürlich mit dem Beweise der Entbehrlichkeit (der für viele Pflanzen wenigstens mit grosser Wahrscheinlichkeit geliefert ist) als unhaltbar fallen gelassen werden musste. Es ist dies die Theorie *), dass die in das Gewebe der Halme eingelagerte Kieselsäure die Festigkeit dieser in einer Weise bedinge, dass z. B. das Fehlen dieses mineralischen Bestandtheils die Ursache der Bildung von Lagergetreide sei.

Ich habe vorhin gesagt, dass jene künstlich erzielten, so ausserordentlich kieselarmen Pflanzen von normaler Bildung gewesen seien. Es schliesst diese Behauptung die constatirte normale Festigkeit der Halme in sich ein, und es ist somit gleichzeitig erwiesen, dass die genannte Theorie von der Bedeutung der Kieselsäure eine unrichtige ist. Wir wissen vielmehr jetzt — und dies ist für die Praxis von grosser Wichtigkeit — mit grosser Bestimmtheit, dass das Lagern des Getreides die Folge einer gewissen Vergeilung der Stengelglieder ist, die bei zu dichtem Bestand und üppiger (namentlich stickstoffreicher) Ernährung eintritt, **) und ebenso bei Reichthum der Halme an Kieselsäure eintreten kann.

Wenn wir auf Grund einer grossen Reihe von vorliegenden Kulturversuchen zur Behauptung der *Entbehrlichkeit* des Siliciums für die höheren Pflanzen berechtigt sind, so ist hierin die Meinung, dass der genannte Grundstoff *durchaus unnütz* für diese Pflanzen sei, *nicht ausgesprochen,* wenn auch eine solche Nützlichkeit bis jetzt nicht erwiesen worden ist. Es scheint vielmehr die Meinung einiger Pflanzenphysiologen dahin zu gehen, dass dennoch ein gewisser Nutzen *) von diesem so allgemein in den Pflanzen verbreiteten Stoffs anzunehmen sei. Jedenfalls werden die stark kieselhaltigen Zellhäute gegenüber denjenigen, die frei von dieser Einlagerung sind, sehr veränderte Eigenschaften zeigen, und so gut man der Veränderung solcher Zellhäute durch Einlagerung von der Cellulose fremden organischen Substanzen, durch Verkorkung und Verholzung unter vielen Umständen eine gewisse Zweck-

---

Kieselpanzer, die Diatomeen dies können, natürlich ziemlich unwahrscheinlich, erwiesen dagegen für manche Pilze, deren Analyse auch häufig die Abwesenheit von Silicium zeigt.

Andere Experimentatoren haben freilich hiervon abweichende Schlüsse gemacht. Vergl. Rautenberg u. G. Kühn: Landw. Versuchsst. 1864 p. 359 u. Heiden: Düngerlehre I. p. 200.

*) Vergl. z. B. Rochleder: Phytochemie 1854 p. 338; ebenso an vielen andern Orten.

**) Die reiche Ernährung allein bringt indessen kein Lagern der Halme hervor; ein einzeln stehender Halm oder eine durch Drillkultur in genügendem Abstand gehaltene Saat lagert auch bei reicher Düngung nicht. Bei engerm Bestand erhalten aber die einzelnen Pflanzen zu wenig Licht; es tritt eine Streckung namentlich der zurückgebliebenen Halme in Folge des Lichtmangels ein (daher die gleiche Höhe der einzelnen nebeneinanderstehenden Pflanzen), die durch die reiche Ernährung unterstützt wird, und so fehlt es, wie an allen unmässig in die Höhe geeilten Trieben, an der gehörigen Festigkeit. Die Mittel, die gegen Lagern angewandt werden, ergeben sich hieraus von selbst. — Auf das gleiche Verhalten (eine mässige Etiolirung) in Folge von Lichtmangel lässt sich die Erfahrung zurückführen, dass der Futtermais bei dichtem Bestand zärter bleibt, weniger verholzt, als bei dünner Aussaat — eine Thatsache von bedeutender praktischer Wichtigkeit.

***) J. Sachs drückt sich über diesen Gegenstand (p. 150 seines Handbuchs d. Experim.

mässigkeit zugestehen kann, so wird Dies auch für eine Veränderung durch Kieselsäure möglich und wahrscheinlich erscheinen. Durch die gemachten Vegetationsversuche ist eben nur bewiesen, dass sich die Bedeutung des Siliciums nicht auf Funktionen des Pflanzenlebens erstreckt, die allzu tief in die wichtigsten Lebensprocesse eingreifen; ein Zusammenhang dieses Stoffes mit irgend welchen Eigenschaften der Pflanze, die nur unter ganz bestimmten, nicht allzu häufig eintretenden Umständen, als wirksame Waffen im Kampfe um's Dasein dienen können, wie z. B. die schwierigere Durchdringbarkeit kieselhaltiger Zellhäute für Mycelienfäden, die so veränderten Gewebetheilen einen Schutz gegen das Befallen durch Schmarotzer-Pilzen *) gewähren würde, wäre immerhin denkbar und nicht unwahrscheinlich.

Die Aufnahme des Siliciums durch die Pflanze geschieht wie die der schon behandelten Metalloïde immer in hochoxydirter Form, als freie Kieselsäure (?) (in der löslichen Modification), oder auch als kieselsaure Salze. Die Basen dieser Salze sind die schon genannten, soweit sie im Wasser oder kohlensäurehaltigem Wasser lösliche Silicate zu bilden vermögen. Auch in der Pflanze scheint keine Veränderung dieser chemischen Form einzutreten, wenigstens nimmt man eine solche nicht an. Es kann nun Angesichts der neuerdings nachgewiesenen Existenz von Kieselverbindungen **), die sich genau so zur Kieselsäure verhalten, wie die sogenannten organischen Verbindungen zur Kohlensäure, also z. B. einer Kieseloxalsäure $Si_2 H_2 O_4$, die beim Verglimmen ein Kieselsäureskelett hinterlässt, ähnlich wie viele Zellhäute, bezweifelt werden, ob eine solche Annahme gerechtfertigt ist, ob nicht möglicherweise die Kieselsäure im Pflanzenorganismus in ähnlicher Weise wie die Kohlensäure, wenn auch indirekt durch schon gebildete organische Substanz reducirt wird, oder mit dem Kohlenstoff zusammen complicirte organische Verdindungen, nach dem Muster von schon künstlich dargestellten, ***) bildet, denn wir besitzen keine oder nur wenige

---

Phys. d. Pfl.) so aus; es scheine „dass die Kieselsäure nach Art eines assimilirten Bildungs„stoffes benutzt wird, dass sie, ohne sich weiter am chemischen Process in den Geweben zu „betheiligen, in die Substanz der Zellhäute eingelagert wird in ganz ähnlicher Weise, wie „die Zellstoffmolekule selbst eingelagert werden, dass sie also wie ein fertiger, bildungs„fähiger, plastischer Stoff von der Pflanze benutzt wird, ohne dass man sagen könnte, die „Pflanze sei absolut an diese Mitwirkung gebunden; sie scheint vielmehr nur als ein be„günstigendes Moment sich an der Vollendung des molekularen Baues der Zellhäute zu be„theiligen. Diese Anschauungsweise wird unterstützt durch die Betrachtung der molekularen „Eigenschaften der Kieselsäure, die in so vielen Punkten mit denen der assimilirten Bil„dungsstoffe, der Stärke, des Zellstoffs, der Eiweissstoffe übereinstimmen. Man könnte also „sagen, es sind nicht die chemischen Affinitäten der Kieselsäure, wodurch sie sich in der „Pflanze nützlich macht, sondern ihre molekularen Eigenschaften, ihre Beziehungen zur Bös„lichkeit, zu den Aggregatzuständen im Allgemeinen, zur Diffussion u. s. w.“, worin, wenn auch natürlich noch nicht in sehr klarer Weise, die Ansicht von der Nützlichkeit der Kieselsäure ausgesprochen wird.

*) Wie ein solches Verhalten wohl behauptet worden ist (vergl. Knop: Kreislauf d. Stoffs. I. p. 221).

**) Vergl. Friedel u. Ladenburg: Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch. 1869 und p. 12 d. Lehrb.

***) Wie z. B. die Silicium-Propionsäure.



experimentelle Anhaltspunkte,*) die gegen die letztere Vermuthung sprechen, und es wird bis zur Auffindung sehr charakteristischer Reaktionen der „organischen Kieselverbindungen", sit venia verbo, auch unmöglich bleiben, solche geltend zu machen.

Noch ein viertes Metalloïd hatten wir unter den mit grosser Regelmässigkeit in der höheren Pflanzenwelt auftretenden verzeichnet: das *Chlor*. Dasselbe wird in gar nicht unerheblichen Mengen, durchschnittlich wohl die des Schwefels übersteigend, in den Pflanzen angetroffen, jedoch in wehselnderen Mengen als dieser. Manche Pflanzen wie der Lauch und namentlich manche einzelne Pflanzentheile haben die besondere Neigung, dies Element in sich anzuhäufen.

Die vielen angestellten Kulturversuche haben für das Chlor Etwas ganz Aehnliches ergeben, wie für das Silicium. In den meisten Fällen wurde durch Ausschliessung dieses Grundstoffs aus der Nährstofflösung keine erhebliche Aenderung in der Ausbildung der in jener gezogenen Gewächse bemerkt. Dieselben gediehen nach wie vor in völlig normaler Weise.

Dagegen liegen eine Reihe von vortrefflichen und sich in ihren Resultaten vollständig bestätigenden Untersuchungen**) vor, nach denen gewisse Pflanzen — erwiesen wurde der Sachverhalt für die Buchweizenpflanze — ihre Fruchtbildung nicht zu vollziehen vermögen, wenn Chlor in den Nährstofflösungen fehlt.

Interessant aber für dieses Verhalten ist, dass es Nobbe***) dabei gelungen ist, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die Unentbehrlichkeit des Chlors in seinen Ursachen aufzuklären, d. h. mit anderen Worten, die Funktion zu entdecken, die das Chlor in der Pflanze zu vollziehen pflegt. Der genannte Forscher hat die grünen Organe der mit Ausschluss von Chlor erzogenen Buchweizenpflanzen so strotzend voll Stärkekörnern gefunden, dass man mit Jodlösungen die betreffenden Gewebestücke tiefblau färben konnte, wie für das blosse Auge leicht erkenntlich war, während man normale grüne Pflanzentheile durch dasselbe Reagenz nur gelblich zu färben im Stande ist (weil eben die Stärkekörner unter gewöhnlichen Umständen so zurücktreten, dass ihre Färbung durch Jod nicht überwiegt). Derselbe schliesst nun aus diesem Verhalten, dass wegen des Mangels an Chlor dem Stärkemehl die Translocationsfähigkeit †) fast vollständig genommen sei, dass also etwa nur das chlorhaltige Protoplasma die Fähigkeit habe, die Stärkekörner in der Weise zu lösen, wie es zu deren Wanderung nothwendig ist; er ist geneigt, anzunehmen, dass

---

*) Als solche könnte vielleicht die vollständige Verkieselung mancher Pflanzentheile, die bis zur wahren Versteinerung fortgeht, angesehen werden, wobei man es mit wirklicher Kieselsäure zu thun hat. Vergl. über die Verkieselung der Cautorinde J. Sachs: Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl p. 153.

**) Nobbe u. Siegert: Landw. Versuchsst. 1863 p. 116; 1864 p. 108; Nobbe ebenda 1865 p. 371; Leydhecker ebenda 1866 p. 177.

***) Ebenda 1865 p. 379—86.

†) Die ganz ungewöhnlich grosse Stärkeproduktion einer durch Hemmung der Transpiration in der Chloraufnahme sehr wesentlich beschränkte Tabakpflanze lässt sich vielleicht auf denselben Gesichtspunkt zurückführen. Vergl. Schlösing: Compt. rend. T. 69 p. 353 oder Landw. Centralblatt 1870. I. p. 145.

das von ihm beobachtete Fehlschlagen der Blüthen nur eine sekundäre Erscheinung sei, indem dieselben unter den bezeichneten Umständen nicht genügende Mengen von durch die Blätter assimilirter organischer Substanz zugeführt erhalten.

Sollte diese interessante Beziehung, die durch weitere Versuche Nobbe's noch wahrscheinlicher gemacht wurde, sich bestätigen, so könnte auch leicht eine Ursache gefunden werden, warum nach den Versuchen Anderer*) das Chlor als ein völlig entbehrlicher Stoff für viele höhere Pflanzen und selbst für die Buchweizenpflanze hingestellt wird, woraus doch zum Mindesten (wenn man den geringen Chlorgehalt der Samen in Rechnung ziehen will) hervorgeht, dass sehr geringe Spuren von Chlor unter Umständen genügen. Es ist nemlich gar leicht möglich, dass die Pflanze nur unter gewissen Verhältnissen nothwendig die Unterstützung der Translocation der organischen Substanz bedarf, dass dagegen viele Pflanzen in den meisten Fällen dieser Unterstützung der Wanderung der plastischen Substanz durch das Chlor entrathen können. Selbst die Mischung und chemische Form der übrigen Nährstoffe, aber auch manche andere Verschiedenheiten werden dahin wirken können, dass eine solche Unterstützung entbehrt werden kann oder nothwendig in Anspruch genommen werden muss; und so ist es denkbar, dass die einander anscheinend widersprechenden experimentellen Resultate in Einklang gebracht werden können.

Jedenfalls geht aus der vorgetragenen Sachlage hervor, dass das Chlor nicht unter die absolut unentbehrlichen Aschenbestandtheile der höheren Pflanzen zu rechnen ist, sondern nur unter die unter Umständen nützlichen. Dasselbe steht jedenfalls nicht zu absolut nothwendigen physiologischen Vorgängen in absolut unabänderlichen Beziehungen, wie wir dies vernünftiger Weise für einen jeden durchweg unentbehrlichen Stoff annehmen müssen. Allein eben so gewiss ist das Bestehen einer Beziehung des in Rede stehenden Aschenbestandtheils zu gewissen physiologischen Funktionen, an denen er wenigstens fakultativ mitwirkt.

Ich kann nicht genug darauf aufmerksam machen, auf was in letzter Linie Entbehrlichkeit und Nützlichkeit eines Bestandtheils irgend eines Organismus hinausläuft, wie dies in unserer bisherigen Darstellung schon hier und da andeutungsweise geschehen ist. Man hat sich gar zu häufig damit begnügt, in mechanischer Weise von absolut nothwendigen, von nicht nothwendigen aber nützlichen und endlich von ganz unnützen Bestandtheilen zu reden, ohne dabei zu überlegen, dass ein im Allgemeinen unnützer Bestandtheil unter besondern Ernährungsverhältnissen ein nützlicher, vielleicht gar unentbehrlicher und eben so ein meistens nützlicher unter Umständen zu einem ganz unentbehrlichen werden kann. Es ist leicht zu erkennen, wie die Theorie der Wirksamkeit der Bestandtheile und speciell der Aschenbestandtheile im Organismus, die ganz unabweisbar als die einzige mögliche sich darstellt, uns zwingt jene in der Gedankenlosigkeit gezogenen Gruppen, wenigstens in jener engen Weise zu verlassen. — Die Besprechung der Wirksamkeit des Chlor im Pflanzenorganismus gibt die beste Gelegenheit zum nochmaligen Hinweis auf die angedeuteten Verhältnisse.

Das, was wir über die durchgängige Entbehrlichkeit des Chlors für höhere

*) Vergl. Knop: Kreislauf des Stoffs. I. p. 615 u. 16; und namentlich: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. der Wissensch. 1869. Separatabdr. p. 14.

chlorophyllhaltige Gewächse ausgesagt haben, scheint sich sogar auf die am Meeresstrand wachsenden und unter gewöhnlichen Umständen reichlich mit Chlor versorgten Pflanzen*) zu beziehen. Nachgewiesen wurde dieser Sachverhalt allerdings nur an einer Pflanze, die nicht ausschliesslich auf Salzboden wächst, am Strandhafer (Psamma arenaria), dessen Samen ausserdem vielleicht zu grosse Mengen von Chlor**) enthalten, um die Annahme einer hinreichenden Verdünnung durch die Kultur zuzulassen.

Für die niedrigen pflanzlichen Organismen, namentlich die chlorophylllosen, scheint nach dem freilich sehr sparsam vorliegenden Untersuchungsmaterial das Chlor keine Bedeutung zu haben; es ist sogar dieser Stoff häufig in der Asche solcher Organismen nicht aufgefunden worden. Für die höhern Thiere dagegen ist die Aufnahme chlorhaltiger Nährstoffe (Kochsalz) zur Existenz nothwendig; die Funktionen dieser Stoffe dagegen ziemlich unbekannt.

Die chemische Form, in der das Chlor von der höheren chlorophyllhaltigen Pflanze, wie von allen andern Organismen aufgenommen wird, ist die Chlorverbindung irgend einer der schon früher genannten für die Pflanze unschädlichen Metalle, also: Chlornatrium, Chlorkalium, Chlorammonium, Chlormagnesium, Chlorkalcium. Doch sind die beiden letzteren in irgend erheblicheren Mengen und mit ihnen auch alle Nährstofflösungen und Nährböden, in denen Veranlassung zur Entstehung dieser Verbindungen gegeben ist, für das Pflanzenleben schädlich***), sei es wegen ihrer Wasser-anziehenden Kraft, sei es, weil die Pflanze gerade aus diesen Salzen unter Assimilirung der Base leicht grosse Mengen von Salzsäure abspaltet, die der Wurzel leicht Schaden bringt, oder aus irgend einem andern Grunde. Weder das freie Chlor, noch die Oxydationsstufen dieses Stoffs, mit oder ohne Verbindung mit Basen, werden von der Pflanze ertragen, mit Ausnahme allerdings des ersten Stadiums der Keimung, das, wenn auch wahrscheinlich indirekt, durch die Anwesenheit von freiem Chlor begünstigt†) wird.

In derselben Form nun, als neutral reagirendes Chlorid, scheint dieser Grundstoff, nach der Aufnahme in der Pflanze zu verharren, wenn natürlich auch häufig ein Wechsel des an ihn gefesselten Metalls eintreten wird. Eine Verarbeitung desselben unter irgend welchen Umständen zu organischen chlorhaltigen Verbindungen ist jedenfalls höchst unwahrscheinlich. Efflorescenzen von Chlormetallen (Chlorkalium z. B.) sind häufig an mit Salzen übersättigten Pflanzentheilen beobachtet worden. Es ist hier nur vielleicht die eben erwähnte Spaltung der Chloride, z. B. von Salmiak in eine Basis, die weiter verarbeitet wird, und Salzsäure, die in der Umgebung der Wurzel nachgewiesen werden kann, zu nennen; dieselbe erfolgt

---

*) Vergl. Knop: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1869. Separatabdr. p. 19.

**) Vergl. ebenda p. 25.

***) Vergl. übrigens die etwas abweichenden Erfahrungen: Landw. Versuchsst. 1863. p. 119.

†) Eine Beobachtung, die wir A. v. Humboldt verdanken, (vergl. Boussingault: Die Landwirthschaft etc. deutsch von Gräger. I. p. 32) und die wohl auf die Beförderung der Oxydation bei der Keimung zurückgeführt werden muss.

aber, wie es scheint, gewöhnlich nur unter künstlichen Ernährungsverhältnissen. *)

Hiermit wäre das Allgemeinste, was durch die Kulturversuche über die Bedeutung des Chlors für das Pflanzenleben an den Tag gekommen ist, mitgetheilt. Es liegen indessen noch eine Reihe von in der landwirthschaftlichen Praxis gemachten Beobachtungen vor, aus denen sich noch weitere eigenthümliche Wirkungen, welche die Chloride auf die Richtung der Pflanzenproduktion ausüben, ergeben, die hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen, so wenig es auch gelungen ist, die ermittelten Erscheinungen in physiologische Vorgänge elementarerer Art aufzulösen.

Man drückt sich, um die beobachteten Thatsachen in einfachster Weise zu bezeichnen, gewöhnlich so aus, dass man sagt: chlorhaltige Düngungen vermehrten bei einigen Feldfrüchten, wie bei Rüben und Kartoffeln zwar den quantitativen Ertrag aber verminderten gleichzeitig die Qualität der producirten Feldfrüchte. Wenn wir uns nun näher nach der Art der Qualitätsverminderung erkundigen, so erfahren wir, dass bei reichlicher Chlorzufuhr die Rüben zuckerärmer, die Kartoffeln stärkeärmer **) gefunden werden, dass mit einem Worte unter diesen Umständen die betreffenden Reservestoffbehälter weniger wohlgefüllt mit Kohlehydraten erscheinen. Daneben kann natürlich eine Chlordüngung, die entweder in Form von Chlorkalcium oder Chlormagnesium oder so gegeben wird, dass diese Stoffe leicht durch Umsetzungen in der Ackererde Entstehung nehmen, die erwähnten schädlichen Wirkungen, die unter diesen Umständen auch in der Praxis durch Mindererträgnisse empfunden werden, auf das Pflanzenleben ausüben.

Die angeführte Beziehung einer starken Chlorzufuhr zu jener eigenthümlichen Richtung der Pflanzenproduktion ist interessant genug, um hier angeführt zu werden. Allein unsere Kenntnisse von den physiologischen Eigenschaften des Chlors sind zu ungenügend, um eine Erklärung dieser eigenthümlichen Wirkung zu ermöglichen. Die früher auf Grund experimenteller Erfahrungen gemachte Annahme der Fähigkeit von Chlorverbindungen, die Wanderung der producirten organischen Substanz zu begünstigen, würde in sofern eine Steigerung der Gesammtproduktion bewirken können, als eine von der assimilirten organischen Substanz rechtzeitig entleerte chlorophyllhaltige Zelle wohl eher zur Produktion neuer organischer Substanz (von Stärkekörnern) geeigenschaftet sein wird, als eine gefüllte. Allein der Mindergehalt an den Kohlehydraten der Reservestoffbehälter würde sich auf diesem Wege nicht erklären lassen. Hiezu wäre es nöthig, sich zu einer neuen Hypothese zu bequemen, nach welcher die Chloride mehr geneigt sein müssten, die Verwendung der gebildeten organischen Substanz zu Neubildungen (Uebergang in Zellstoff) zu veranlassen, als zu deren Ablagerung in Form von Reservestoffen. — Doch wir wollen nicht diesen verlockenden, aber gefahrvollen Pfad der Hypothesen betreten.

---

*) Vergl. die nächste Vorlesung.

**) Vergl. J. Nessler; Düngerlehre. 1868. p. 16; ebenso Cordel: Die Stassfurther Kalisalze etc. 1868. p. 9, und Heiden: Düngerlehre. B. II. p. 384. Diese Wirkung wird übrigens von anderer Seite nicht völlig zugegeben. (Siehe Birnbaum: Die Kalidüngung etc. 1869. p. 48, und Frank ebenda).

Die schädliche Wirkung, die nach sehr vielen einander bestätigenden Beobachtungen *) die Chloride des Düngers und des Bodens auf die Eigenschaften des Tabaks ausüben, lässt sich theilweise auf andere Gesichtspunkte zurückführen. Eine Tabakspflanze, die in einem an Chlor reichen Nährboden gewachsen ist, erzeugt fast unter allen Umständen Blätter, die einen hohen Grad von Unverbrennlichkeit oder besser Unverglimmbarkeit (bekanntlich eine sehr ungern gesehene Eigenschaft des Rauchtabaks, namentlich desjenigen, der zur Cigarrenfabrikation dient). Diese üble Eigenschaft ist nachgewiesenermassen häufig eine Folge des hohen Chlorgehalts **) der Tabaksblätter und kann auch künstlich hervorgebracht werden durch Imprägniren der todten Blätter oder auch gewöhnlichen Papiers mit Chlorverbindungen. ***) Erklärt wird diese unangenehme Folge des Chlorgehalts durch die leichte Schmelzbarkeit †) des Chlormagnesiums und Chlorkalciums, welche Salze man sich in den Blättern vorhanden denkt, und die im geschmolzenen Zustande die Kohletheilchen umhüllen und an der vollständigen Verbrennung verhindern sollen. Wir haben hier über die Stichhaltigkeit dieses plausiblen Erklärungsversuchs kein Urtheil abzugeben, da wir es in jener Eigenschaft der Chlorsalze nicht mit physiologischen Wirkungen dieser Stoffe zu thun haben.

Neben diesen qualitativen Missständen, welche die reichliche Zuführung von Chlorverbindungen für die Tabakkultur mit sich bringt, und die freilich ganz anderer Natur sind, als jene beim Rüben- und Kartoffelbau empfundenen, scheinen diese Stoffe auch beim Tabak; wie bei diesen Kulturen auf grosse Erträgnisse ††) hinzuwirken, — eine Erscheinung, die aus demselben Gesichtspunkt wie dort ihre Erklärung finden muss, so dass auch hier schädliche und nützliche Wirkungen einander gegenüberstehen, die es in der landwirthschaftliehen Praxis oft zweifelhaft †††) machen, ob man sich chlorhaltiger Düngemittel mit Vortheil bedienen kann oder nicht.

Diese mehr praktischen Erfahrungen über die Wirkung des Chlors als Pflanzennahrungsmittel, die bisher noch nicht zu mehr theoretischen Arbeiten über diese merkwürdigen Beziehungen angeregt haben, sollten hier nur kurze Erwähnung finden. als ein Gegenstand von Interesse, der wohl werth wäre, auf zum Theil noch unbekannte physiologische Funktionen der Chloride zurückgeführt zu werden.

---

*) Vergl. Schlösing: Compt. rend. 1860. I. p. 642 und deutlicher bei J. Nessler: Der Tabak etc. 1867 p. 41 u. ff.

**) In entgegengesetzter Richtung wirkt der Gehalt an pflanzensaurem Kali; siehe J. Nessler: a. a. O. p. 90.

***) Siehe J. Nessler: ebenda p. 33 und Adolf Mayer: Deutsche Tabakszeitung 1869. Nr. 18 p. 1, Nr. 20 p. 2 etc.

†) J. Nessler: a. a. O. p. 41.

††) Ebenda 74, 78, 79, woraus wenigstens die relative Grösse des Ertrags durch mineralische chlorhaltige Dünger, im Vergleich mit mineralischen chlorfreien hervorgeht.

†††) Die Rathschläge, die für die Composition mineralischer Tabakdünger nach einander gegeben worden sind, können hierfür als vortreffliches Beispiel dienen. Vergl. J. Nessler: Der Tabak, und dessen: Düngerlehre, die verschiedenen Auflagen.

Sechszehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandtheile der Pflanze. — Die Metalle der Pflanzenaschen.

Ausser den Metalloïden unter den Aschenbestandtheilen, deren Bedeutung für das Pflanzenleben wir in der letzten Vorlesung behandelt haben, finden sich nun auch Metalle in den Pflanzenaschen. Es geht dies schon aus dem Umstand hervor, dass wir es in diesen Aschen mit salzartigen Gemischen zu thun haben, also mit einem Gemenge von Verbindungen für die metallische und sogenannte metalloïdische Bestandtheile charakteristisch sind. Damit ist nun freilich nicht gesagt, dass die Asche immer einen neutralen Charakter haben müsste. Es können vielmehr, wie in der Asche unserer Weizenkörner, die metalloïdischen Bestandtheile dermassen in's Uebergewicht gerathen, dass eine sehr saure Reaktion resultirt und umgekehrt, wie in den Weintrauben, die Metalle so vorherrschen, dass eine sehr basische Asche erhalten wird. In allen Aschen sind jedoch wesentlich auch salzartige Verbindungen mit fixen Säuren vorhanden, so dass man überall auf die Anwesenheit von Metallen sowohl, als von Metalloïden schliessen darf.

Wie wir bisher unser Augenmerk hauptsächlich auf die vier Metalloïde gerichtet haben, die in allgemeinster Verbreitung in den Pflanzenaschen gefunden worden sind, so werden wir uns nun mit den fünf in der Pflanzenasche am Regelmässigsten vorkommenden Metallen zu beschäftigen haben. Wir können uns in Bezug auf diesen Gegenstand etwas kürzer fassen als bisher.

Gefunden wurden, wie wir erwähnt haben, mit fast ausnahmsloser Regelmässigkeit in den Aschen der verschiedensten höheren Pflanzen und Pflanzentheilen: *Kalium, Natrium, Kalcium, Magnesium und Eisen.*

Das *Kalium* ist noch in keiner Asche irgend einer Pflanze oder eines Pflanzentheils vermisst*) worden, doch kommt es in verschiedenen Pflanzen und Organen in sehr verschiedenen Mengen vor. Diejenigen landwirthschaftlichen Nutzpflanzen, die es in grossen Massen in sich aufzuhäufen pflegen, sind wohl von andern Gewächsen als *Kalipflanzen* **) unterschieden, und als solche besonders die Rüben- und Kartoffelpflanzen bezeichnet worden. Will man sich zu dieser Bezeichnungsweise bequemen, so sind ausser den genannten jedenfalls noch der Weinstock, der Tabak, der Hopfen und vielleicht noch andere landwirthschaftliche Nutzpflanzen als Kalipflanzen zu bezeichnen.

Ueber die Vertheilung des Kalium in der Pflanze können einige Gesichtspunkte angegeben werden, aus denen auch theilweise dessen besondere Anhäufung in manchen Pflanzen erhellt. Doch ehe wir auf die physiologischen Funktionen dieses Aschenbestandtheils eingehen, auf welche wir durch jene Betrachtung unfehlbar würden geführt werden, wollen wir das Ergebniss der Kulturversuche in's Auge fassen und

*) Die Angaben eines gegentheiligen Sachverhalts beziehen sich nur auf niedrige Pflanzenformen und sind noch nicht genügend belegt worden.

**) Liebig: Die Chemie etc. 1862. I. p. 212 u. ff.

zusehen, was diese über die Entbehrlichkeit oder Unentbehrlichkeit des zu besprechenden Grundstoffs aussagen.

In Bezug auf die Unentbehrlichkeit des Kaliums für die Pflanzen besteht auf Grund der vielen Kulturversuche, die alle das gleiche Resultat gegeben haben, eben so wenig eine Kontroverse, wie für den Phosphor. Kein Versuch, bei dem alle Kalisalze vollständig ausgeschlossen oder auch nur sehr vermindert waren, hat eine normal gebildete Pflanze, eine erhebliche Produktion von organischer Substanz zur Folge gehabt. Der durch sehr viele Versuche nachgewiesene Satz von der Unentbehrlichkeit des Kaliums scheint sich auch, soweit die Erfahrungen reichen, bis auf die niedrigsten pflanzlichen Organismen zu erstrecken, und dass die thierischen Wesen dieses Elementarbestandtheils nicht entbehren können, ist genugsam bekannt.

Wenn nun nach den physiologischen Funktionen des Kaliums in der Pflanze gefragt wird, um derentwillen dasselbe sich als absolut unentbehrlich für die Ausbildung jener erwiesen hat, so könnte man auf den Gedanken gerathen, hier, wie auch schon in den früher behandelten Fällen, diese Funktion aus der Missbildung der Pflanze, die in Folge des Ausschlusses dieses Nährstoffs sich zeigt, zu erschliessen. Man möchte um so eher auf diesen Gedanken verfallen, als bei einem der bereits besprochenen metalloïdischen Aschenbestandtheile, beim Chlor dieser Weg zu einem Ziele zu führen scheint. Die Vergleichung der Gestaltung und der Zusammensetzung einer im Uebrigen unter denselben Bedingungen gezogenen chlorfreien und chlorhaltigen Buchweizenpflanze hat uns eine gewisse Vorstellung von der Wirksamkeit des Chlors in dieser Pflanze gegeben; ganz abgesehen davon, dass diese Art der Schlussfolgerung theoretisch ganz selbstverständlich erscheint.

Dennoch haben wir bei unseren früheren Betrachtungen über die Art der Wirksamkeit der andern schon behandelten Aschenbestandtheile, dieser anscheinend so auf der Hand liegenden Methode nicht oder nur im beschränktesten Massstabe bedient. — Der Grund hiefür liegt in Folgendem:

Diejenigen Aschenbestandtheile, die nur gewisse Vorgänge in der Pflanze befördern, ohne zu unentbehrlichen Lebensprocessen in unabänderlicher Beziehung zu stehen, also auch unter manchen Umständen entbehrt werden mögen und so im Allgemeinen den Namen *nützlicher Bestandtheile* erhalten werden, können bei ihrer Ausschliessung nicht die gänzliche Niederlage der Vegetation zur Folge haben. Die ohne dieselben erzogene Pflanze wird in der Regel weniger gut gedeihen, aber es doch zu einer gewissen Entwickelung bringen und wird es so immerhin *möglich machen, den Effekt jenes Ausschlusses zu beobachten.*

Wenn dagegen *ein Nährstoff* der Pflanze vorenthalten wird, *der die in einer jeden Zelle vor sich gehenden Lebensprocesse,* ohne deren Vollzug gar keine Weiterentwickelung in irgend einer Richtung auch nur entfernt denkbar ist, *nothwendig vermittelt,* — wenn der Pflanze gleichsam das tägliche Brod entzogen wird, so muss *nothwendig in so frühen Entwickelungsstadien das Leben der Pflanze erlöschen,* dass es rein unmöglich ist, den Effekt des Ausschlusses anders auszudrücken, als dass man sagt, man habe es mit einem ganz unentbehrlichen, die einfachsten, sich täglich und stündlich wiederholenden Lebensvorgänge vermittelnden

Stoffe zu thun, *ohne etwas von dessen näheren Funktionen angeben zu können.**) Der Ausschluss eines derartigen Stoffes wird voraussichtlich so viel sekundäre Erscheinungen anomaler Natur in seinem Gefolge haben, dass eine Beurtheilung der Art der Wirksamkeit eines solchen Nährstoffs sich von selbst strenge verbietet.

Durch diese Betrachtung wird es einleuchtend, warum man es bei Behandlung aller der wichtigsten Aschenbestandtheile nicht unternehmen konnte, hinter das Geheimniss ihrer Wirksamkeit einfach durch die Kulturversuche**) zu gelangen, — ein Weg, der für die minder wichtigen wohl mit einigem Vortheil betreten werden kann. Desshalb konnte auch dieser so selbstverständlich erscheinende Weg nicht bei Beurtheilung der Funktion des Schwefels und des Phosphors in der Pflanze betreten werden. Auf diese wurde vielmehr ein Schluss gemacht aus der Vertheilung der genannten Stoffe in der Pflanze und in den in dieser vorhandenen Bestandtheilen die für beide Beziehungen zu den Proteïnstoffen an den Tag legte.

Dieser Weg ist's, der uns auch für das Kalium allein übrig bleibt. Wir haben nun schon einmal früher erwähnt,***) dass das Kalium vorzüglich in den Gewebetheilen vorhanden ist, wo wir die Kohlehydrate in Wanderung begriffen finden, in jenem sauer reagirenden Parenchymgewebe der Rinde und des Markes der höher organisirten Gewächse, während jene andern Gewebetheile, die gestreckten Zellen der Gefässbündel, in denen die Fortleitung proteïnartiger Stoffe stattfindet, von Aschenbestandtheilen vorzugsweise Phosphor enthalten — Die Beziehung des Kaliums zu den Kohlehydraten beschränkt sich jedoch nicht auf die in Wanderung begriffenen, sondern, wie der Phosphor ein treuer Begleiter der eiweissartigen Stoffe ist, so treffen wir *überall* die *Kohlehydrate* mit dem *Kalium* vergesellschaftet.†)

Auf den nemlichen Gesichtspunkt läuft nun in Wahrheit die vorhin mitgetheilte Thatsache, dass gewisse Pflanzen besonders kalireich sind, hinaus. Diese Pflanzen sind eben vorzugsweise solche, in denen grosse Mengen von Kohlehydraten erzeugt und niedergelegt werden, — wenigstens gilt dies für die Rüben, die Kartoffeln, den Weinstock. Aus derselben Thatsache folgt dann auch die Anhäufung des Kaliums in gewissen Pflanzentheilen.

Dies ist aber auch ungefähr unsere ganze Wissenschaft von der genannten Beziehung, — In welcher Weise die beiden Stoffe an einander gebunden, auf welche Art die Kaliumverbindungen die Translocation und Niederlegung der Kohlehydrate

*) Vergl. über diesen Gegenstand die vor Kurzem von mir vorgeschlagene Methode, um die Funktionen von Nährstoffen durch vergleichende Untersuchungen an sehr verschiedenen und namentlich niederen Organismengruppen zu ermitteln (Untersuchungen über die alkoholische Gährung etc. 1869. p. 4.

**) Am Meisten Aussicht auf Erfolg würden in dieser Richtung noch jedenfalls comparative Versuche mit der Zufuhr der einzelnen Nährstoffe haben, wo der Effekt des theilweisen Ausschlusses durch chemische und anatomische Vergleichung der erzielten Pflanzen festgestellt werden musste. Die bisher unternommenen comparativen Versuche (vergl. Hellriegel: Landw. Versuchsst. 1869 p. 137, und E. Wolff: Bericht über Vegetationsversuche etc. 1868 p. 25—62 haben bisher diesem Zwecke noch wenig gedient.

***) Siehe Schluss der dreizehnten Vorlesung p. 213.

†) Diese Thatsache ist besonders und, so viel mir bekannt, auch zuerst von Liebig hervorgehoben worden. Vergl.: Die Chemie in ihrer Anw. etc. 1862. II. p. 26; auch schon die älteren Auflagen.

vermitteln, darüber ist ganz und gar nichts bekannt. Eine (auf einem jetzt längst überholten Standpunkt unserer Anschauungen über die Produktion von organischer Substanz basirte) Theorie der Art dieser Wirksamkeit, nach welcher das Kali dienen sollte, um die Pflanzensäuren zu binden, die als genetische Uebergangsstufen zwischen dem höchst oxydirten anorganischen Rohmaterial jener Produktion und den Kohlehydraten angesehen wurden, *) haben wir schon früher als einen zwar „schönen Gedanken," aber nicht den Thatsachen entsprechend **). zurückzuweisen ***) gehabt.

Es ist zweifelhaft, ob neben dieser Beziehung des Kaliums zu gewissen Funktionen in der Pflanze noch andere Beziehungen unterschieden werden müssen. De Saussure hat seiner Zeit †) die Bemerkung gemacht, dass der Kalireichthum eines Pflanzentheils mit der Energie seines Wachsthums gleichen Schritt halte. Diese Bemerkung ist durch die späteren Analysen vollauf bestätigt worden; allein vielleicht ist die Thatsache, welche diese Beobachtung ausdrückt, auf die gleiche Funktion, wie jene andere zurückzuführen. Bei der Neubildung von Organen findet bekanntlich wesentlich Ablagerung von Cellulose statt, und diese ist Nichts Weiteres als ein Kohlehydrat, mit deren Transport und Ausscheidung Kaliumverbindungen in genauer Beziehung stehen. Man könnte eben so gut den Reichthum solcher junger sich entwickelnder Organe von energischer vegetativer Thätigkeit an Phosphor hervorheben, und doch ist dieser Phosphorgehalt selbstverständlich, da in solchen Organen auch stets ein lebenskräftiges proteïnreiches Protoplasma angetroffen wird. Aeltere Organe, in denen die energischen Lebensvorgänge in den Hintergrund getreten sind, werden ebenso durchgehends auch arm an Kalium wie an Phosphor gefunden.

Was nun die chemischen Verbindungen betrifft, in denen das Kalium in die Pflanze eintritt, so kann einfach gesagt werden, dass diese die Kalisalze derjenigen Säuren sind, die wir bisher schon als unschädlich, im hohen Grade nützlich oder unentbehrlich für die Gewächse kennen gelernt haben, nemlich das salpetersaure Kali, das schwefelsaure, phosphorsaure, salzsaure und wohl auch das kieselsaure Kali. Bei künstlichen Vegetationsversuchen hat man die besten Erfolge ††) von Verwendung des salpetersauren und phosphorsauren Kali's gehabt. Das kohlensaure Kali dagegen kann wegen seiner stark alkalischen Eigenschaften als eine ganz unbrauchbare chemische Form der Kaliumaufnahme gelten, wie dies durch Vegetationsversuche hinreichend bewiesen †††) wird.

In welchen verschiedenen chemischen Gestaltungen das Kalium dann in der Pflanze auftritt, und in welcher namentlich es seine eben angedeuteten Funktionen vollzieht, darüber ist noch sehr wenig bekannt. Organische Kalisalze, vorzugsweise mit den Säuren Weinsäure, Oxalsäure, Aepfelsäure und Citronensäure sind eine ganz

*) Vergl. Liebig: Die org. Chemie i. ihr. Anw. etc. 1843. p. 186—91.

**) Aeltere grüne, aber noch assimilirende Blätter sind ziemlich kaliarm.

***) Siehe die neunte (auch die vierte) Vorlesung.

†) Citirt bei Sachs: „Recherches chim. übersetzt von Voigt p. 263."

††) Vergl. Knop: Kreislauf des Stoffs. I. p. 601 und 604—606; und die nächste Vorlesung.

†††) Vergl. Knop: ebenda p. 602.

gewöhnliche Form des Vorkommens des Kaliums in der Pflanze; neben diesen kommen dann auch noch anorganische Kalisalze, namentlich wenn diese im Uebermass der Pflanze zur Verfügung stehen, vor, wie durch die beobachteten Auswitterungen von solchen Salzen sich ergibt. Ob aber in einer dieser Formen das Kalium die Kohlehydrate auf ihren verschiedenen Wanderungen durch den Organismus begleitet, und ob in diesem Falle eine wirkliche chemische Verbindung zwischen jenen unzertrennlichen Stoffen besteht, darüber ist zur Zeit noch Nichts bekannt.

In Bezug auf die Eigenschaften, die ein hervorragender Kaligehalt einzelnen Kulturgewächsen zu ertheilen vermag, will ich nur hier die erhöhte Verbrennlichkeit stark kalihaltiger Tabaksblätter *), namentlich, wenn das Kali an Pflanzensäuren **) gebunden ist, erwähnen, so dass dieser Stoff in der erwähnten Hinsicht genau die entgegengesetzte Rolle spielt, wie das Chlor ***). Eine ganz ähnliche reciproke Wirkung ergibt sich aus dem vorhin Gesagten bezüglich des Gehalts der Rüben und Kartoffeln an Zucker und Stärkemehl, so dass das Kali in Bezug auf mehrere ganz verschiedene Gewächse gleichsam der Qualitäts-verschlechternden Wirkung des Chlors den Widerpart hält.

Das dem Kalium in vielen Eigenschaften so ähnliche *Natrium* findet sich beinahe mit derselben Regelmässigkeit wie dieses in den Aschen der unter natürlichen Verhältnissen gewachsenen Pflanzen. Doch ist sogleich ein auffallender Unterschied in dem Vorkommen dieser chemisch nahe verwandten Metalle in die Augen springend. — Das Natrium, im Boden von vielleicht durchschnittlich kaum geringerer Verbreitung wie das Kalium findet sich in den Aschen von den auf diesem Boden gewachsenen Pflanzen in sehr viel kleineren Mengen †) als das eben besprochene Metall, und selbst die Pflanzen, die in einer Umgebung gewachsen sind, deren Natriumgehalt den Gehalt derselben an Kalium um das Vielfache übersteigt, wie im Meerwasser ††) oder auf dem Meeresstrand, enthalten doch nahezu gleiche, in manchen Organen sogar viel grössere Mengen †††) von Kalium als Natrium. — Diese Thatsache an sich ist schon auffallend genug.

Dazu kommt, dass wir in Bezug auf die Vertheilung des Natriums durch die einzelnen Pflanzenorgane fast bei allen Gewächsen keine Anhäufung dieses Grundstoffes an einzelnen Orten, sondern eine ziemlich gleichmässige Vertheilung desselben durch den ganzen Pflanzenleib beobachten, — ein Verhalten, das dem Kalium lange

*) J. Nessler: Der Tabak etc. 1867. p. 33 u. ff.; Schlösing: Compt. rend. 1860. I. p. 642.

**) Was aus dem alkalischen Titer der Tabaksasche geschlossen werden kann. Vergl. ebenda p. 150.

***) Siehe die vorhergehende Vorlesung p. 252.

†) Vergleiche die Aschentabellen der nächsten Vorlesung.

††) Im Salzrückstand des Meerwassers sind durchschnittlich auf 75 % Chlornatrium, noch nicht 4 % Chlorkalium vorhanden; (daneben noch geringe Mengen anderer Natriumverbindungen). Vergl. Knop: A, a. O. p. 138. Aehnliche Verhältnisse auch aus Vogt: Geologie 1854. I. p. 60.

†††) Vergl. die Analyse des entschälten Samens des Strandhafers von einem Schüler Knop's: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. der Wissensch. 1869 6. Febr. p. 25, wo beinahe die 30fache Menge Kali gefunden ward.

nicht in dem Grade *) zukommt und von dem des Phosphors wohl am Weitesten abweicht.

Dies Verhalten des Natriums, das an das des Chlor einigermassen erinnert (auf welches indessen kein allzugrosses Gewicht gelegt werden soll), kann uns, zusammengehalten mit der Thatsache seines so sparsamen Vorkommens, dazu dienen, uns schon von vornherein, noch ohne die Resultate der betreffenden Kulturversuche zu kennen, eine Meinung von der Rolle zu bilden, die dieser Grundstoff in der höheren Pflanze zu spielen befähigt ist, — und zwar keine allzu hohe Meinung.

Diese wird nun vollständig bestätigt durch die Ergebnisse der Kulturversuche bei völligem Ausschluss von Natrium. Es ist in den verschiedensten *natriumfreien Lösungsgemischen* gelungen, eine ganze Reihe der höheren Gewächse und namentlich solche von landwirthschaftlicher Nutzbarkeit nicht blos fortzubringen, sondern *in normaler Ausbildung* und grosser Ueppigkeit *zu kultiviren*. Diese Resultate müssen einen um so schlagendern Beweis für die Entbehrlichkeit des Natriums als Bestandtheile dieser Pflanzen liefern, als in den ausgelegten Samen meistens nur sehr geringe Mengen von diesem Grundstoffe sich vorfinden (einmal wegen des sparsamen Vorkommens **) desselben in der Pflanze überhaupt und dann, weil keine Anhäufung desselben im Samen stattfindet). Es ist allerdings eingeworfen ***) worden, dass nicht in allen Fällen durch die Analyse der erzielten Pflanzen der Beweis des vollständigen Ausschlusses des fraglichen Aschenbestandtheils geliefert worden sei, und eine zufällige Zuführung dieses letzteren durch den Staub etc. immer möglich und wahrscheinlich sei. Dagegen ist wiederum zu erinnern, dass die Methode mit *absoluten Ausschluss* theoretisch gar nicht und für keinen im Samen enthaltenen Stoff möglich ist, dass, um einen solchen in dem verlangten Sinne zu einem absoluten zu machen, die Kultur in absolut reinem Material durch eine *unendlich grosse Zeit* mit immer neuer Verwendung des auf diese Weise erzeugten Samens nothwendig wäre. — Der einzige Nachweis, der *möglich* ist, ist bei einer Anzahl von Gewächsen für die Entbehrlichkeit des Natrons mit zureichender (wenn auch nicht immer mit aller möglichen) Schärfe beigebracht worden.

Von einer Seite †) ist nun zwar die Entbehrlichkeit des Natriums für die Fruchtbildung des Weizens behauptet worden, — doch ist diese Behauptung, bevor man zwingendere Beweise als das Fehlschlagen einzelner Kulturen beibringt, einstweilen zu übergehen.

Für diejenigen Pflanzen, die bisher in vollkommen üppiger Weise bei genügendem Ausschluss des Natrium erzogen worden sind, wird nach den vorliegenden vergleichenden Versuchen das Natrium auch *nicht einmal als ein nützlicher Bestand-*

*) Vergl. J. Schröder: Landw. Versuchsst. 1868 p. 507.

**) Die älteren Aschenanalysen zeigten wegen der Unvollkommenheit der Methode dieser Analysen grössere Mengen von Natron; vergl. Knop: Kreislauf des Stoffs. I. pag. 238.

***) J. Sachs: Handb. d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 149.

†) Salm Horstmar: Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanzen. 1856. pag. 29.

theil angesehen werden dürfen. Es ist somit für diese Gewächse (namentlich Mais und Buchweizen) erlaubt, den Schluss zu machen, dass das Natrium auch nicht mit irgend einem wesentlicheren oder unwesentlicheren physiologischen Vorgang in denselben in Beziehung stehe.

Allein ich muss auch hier wieder andererseits darauf aufmerksam machen, dass es durchaus unthunlich ist, *diesen Schluss auszudehnen bis über Gebiete,* für die keine experimentellen Daten vorhanden sind. Es ist sehr leicht möglich — und der hohe Natrongehalt einzelner Pflanzen schon scheint darauf hinzudeuten *), dass manche Pflanzen des Natriums bedürftig sind, oder doch Nutzen aus dem Gehalt an diesem Stoffe ziehen, d. h. mit andern Worten, dass es doch in pflanzlichen Organismen Lebensvorgänge geben kann, die an Natriumverbindungen mit Nothwendigkeit oder fakultativ geknüpft sind. **)

Was die Entbehrlichkeit des Natriums für andere als die chlorophyllhaltigen Organismen betrifft, so will ich (der Vergleichung wegen) daran erinnern, dass die Thiere, wenigstens alle höheren Thiere, dieses Bestandtheils nothwendig bedürftig sind, daher sie sich, wenn sie auf die an Natriumverbindungen arme Pflanzenkost angewiesen sind, eine natriumhaltige mineralische Zulage, das Kochsalz zu verschaffen suchen. Ein Gleiches geschieht sogar in vielen Fällen, wenn auch die natriumreichere animalische Kost zur Ernährung dient. — Die Pilze scheinen, soweit die Untersuchungen reichen, das Natrium missen zu können. Ueber die Funktionen, welche die Natriumverbindungen in den Organismen, welche dieser Stoffe nicht entrathen können, verrichten, kann Nichts allgemein Gültiges mitgetheilt werden.

Unter den dargelegten Umständen bietet die Form der Aufnahme des Natriums in die höhere Pflanze wenig Interesse für uns dar; sie geschieht übrigens in nach dem Früheren ziemlich selbstverständlicher Weise. Es sind wieder die Natronsalze der schon bei Behandlung der Assimilation des Kalium genannten Säuren, die nach Gesetzen, die wir nun bald zu erläutern haben werden, in die Pflanzenwurzel übergehen und sich von dort aus, vermuthlich ohne Verarbeitung in die organische Substanz zu erleiden, durch die ganze Pflanze zu verbreiten. Natürlich können aber diese Natronsalze innerhalb der Pflanze durch Wechselzersetzung organische Säuren eintauschen, so dass das Bestehen organisch-saurer Natronsalze in der Pflanze, auch ohne physiologische Bedeutung des zu Grunde liegenden Metalls durchaus nicht ausgeschlossen bleibt. — Es ist zwecklos, diese möglichen Umsetzungen weiter zu verfolgen.

Das *Kalcium* ist ein weiterer in den Pflanzenaschen mit grosser Regelmässigkeit auftretender Bestandtheil. Keine höhere Pflanze ist jemals auf diesen Grund-

*) Knop erwähnt einer Pflanzenasche von Crysanthemum (von Bangert analysirt), die 22,2% enthielt. Vergl. a. a. O. p. 238.

**) Es sprechen ausser dem hohen Natriumgehalt einzelner Pflanzen noch mehrere Beobachtungen für die Wahrscheinlichkeit eines solchen Verhaltens. Es sind sowohl im Leipziger agrikulturchemischen Laboratorium von Knop neuerdings Versuche über die Ernährung von Algen angestellt worden, als auch hier in Heidelberg auf meine Anregung solche unabhängig von jenen unternommen worden, die, soweit sie jetzt gediehen sind, eine besonders günstige Wirkung für die Natronsalze anzudeuten scheinen.

stoff geprüft worden, ohne dass man erhebliche Mengen desselben vorgefunden hätte. Allein auch dessen Verbreitung in der Natur und in der Ackererde ist eine so grosse und in vielen Fällen selbst vorherrschende, dass man nach Analogie des Natriums jenes Vorkommen in den pflanzlichen Organismen auf diesen Umstand zu schieben geneigt sein könnte.

Doch sehen wir, ob eine eigenthümliche Vertheilung des Kalciums in der Pflanze nach einzelnen Organen bemerklich ist. Ein Blick auf die systematischen Zusammenstellungen *) solcher Analysen genügt, um eine solche Vertheilung in der That zu constatiren, und um zu finden, dass namentlich die *blattartigen Organe* und mit ihnen auch alle die Pflanzen, bei denen diese Organe vorzugsweise entwickelt sind, *reich* sind *an Kalcium*, während die Wurzeln und Knollen unserer Gewächse (mit unterirdischen Reservestoffbehältern) und besonders die Körner der Getreidearten, weniger die ölhaltigen Samen eine *kalkarme Asche* ergeben. Wir erinnern uns aus unsern bisher gemachten Erfahrungen, dass eine solche ungleichmässige Vertheilung eines Aschenbestandtheils auf eine Funktion desselben hinweist. Wir werden gleich bei der Betrachtung der Resultate der Kulturversuche ersehen, ob diese Folgerung sich bestätigt.

Es wurde eben darauf hingedeutet, dass die blattreichen Gewächse auch vorzugsweise die kalciumhaltigsten sind. In der That lässt sich der Reichthum an diesem Grundstoff in einzelnen Pflanzenarten, der früher zur Unterscheidung von *Kalkpflanzen* **) neben Kali- und Kieselpflanzeu Veranlassung gab, wesentlich auf diesen Gesichtspunkt zurückführen. Die verschiedenen Kleearten, Erbsenpflanzen, Tabak und was sonst schon den Titel Kalkpflanzen erhalten hat, sind eben Gewächse von sehr entwickeltem Blattorgan. — Indessen wird es wahrscheinlich möglich sein, auch noch andere Beziehungen für das Vorkommen von Kalcium ausfindig zu machen. Wir werden sogleich auf diesen Gegenstand zurückkommen.

Alle Kulturversuche, die zur Entscheidung der Frage nach der Bedeutung des Kalciums angestellt worden sind, haben das übereinstimmende und unzweifelhafte Resultat ergeben, dass — wie nach dem Vorausgeschickten zu vermuthen stand — *keine höhere Pflanze zu Etwas Erheblichem gebracht werden kann,* wenn nicht schon die junge *Keimpflanze assimilirbare Kalciumverbindungen* in ihrer nächsten Umgebung *antrifft.* Es tritt dies Resultat um so schneller ein, als die ausgelegten Samen, wie gesagt, grossentheils sehr wenig von dem fraglichen Stoffe enthalten. Das Kalcium muss somit, wie der Schwefel, der Phosphor, das Kalium, *als absolut unentbehrlicher Bestandtheil* eines jeden höheren Gewächses angesehen werden, und es ist auch in der That einer jener drei Aschenbestandtheile, für die *de Saussure* schon in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts die Unentbehrlichkeit für die Pflanzenwelt ausgesprochen hatte.

Allein auch bei diesem constituirenden Stoff geht unsere Erkenntniss nicht über das Bewusstsein seiner absoluten Nothwendigkeit hinaus; auch für das Kalcium kennen

*) Z. B. E. Wolff: Düngerlehre 1868 p. 161—65. Aehnliche Zusammenstellungen finden sich in der nächsten Vorlesung.

**) Liebig: Die Chemie in ihrer Anw. etc. 1862. I. p. 212 u. ff.

wir nicht den *physiologischen Akt,* zu dessen Zustandekommen es nothwendig mitwirken muss, *) und um dessentwillen die Pflanze seiner nicht entrathen kann. Sein Vorkommen im Blattorgan, nicht blos während dessen Jugend, sondern noch vorherrschender in den herbstlichen Blättern, die im Begriffe sind abzufallen, scheint zwar einen Fingerzeig zu geben, um so mehr als wir wissen, dass niedrige Pilze, die kein Blattorgan besitzen und unfähig sind, organische Substanz zu produciren, auch frei von Kalcium erzogen werden können. Allein dieser Fingerzeig ist doch noch mehrdeutig, und wir wissen nicht, ob wir geradezu den Schluss ziehen sollen, dass das Kalcium in irgend einer Verbindung eine Rolle spiele bei der Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle, oder ob wir theilweise derartige Ablagerungen namentlich in den alternden chlorophyllhaltigen Organen einem ähnlichen Processe zuschreiben sollen, wie die Ansammlung der für den pflanzlichen Organismus so unwichtigen Kieselsäure. Wahrscheinlich wirken mehrere solche Beziehungen stets gleichzeitig und verhüllen so die Gesetzmässigkeiten, nach deren Ergründung wir trachten. **)

Ueber die Form der Aufnahme des Kalciums und die Verarbeitung der aufgenommenen Kalciumverbindungen brauchen wir nur dem beim Kalium Gesagten wenig mehr hinzuzusetzen. Das Kalcium ist im Boden am Gewöhnlichsten als kohlensaurer Kalk (der Kalk des gewöhnlichen Lebens) vorhanden, und diese Verbindung, die zwar nicht an sich, aber (unter Anderem) in dem kohlensäurehaltigen Wasser des Bodens und in den sauren Wurzel-Ausscheidungen löslich ist, kann als solche zur Pflanzenernährnng dienen, da sie nicht wie das entsprechende Kaliumsalz stark alkalische das Pflanzenwachsthum schädigende Eigenschaften besitzt. Ebenso unlöslich an sich ist der dreibasisch phosphorsaure Kalk, aber löslich in den angegebenen und noch einigen andern in der Ackererde häufigen Medien. Auch dieser ist eine zweckmässige Form der Kalciumaufnahme; ebenso die an sich löslichen Kalciumsalze, der salpetersaure ***) und schwefelsaure Kalk. Das leicht lösliche Chlorkalcium dagegen ist eine meistens für die Pflanze schädliche Verbindung und daher keine geeignete Form der Kalciumassimilation.

In der Pflanze werden dann neben anorganischen Kalksalzen vorwiegend organische, wie der oxalsaure Kalk angetroffen; von einem näheren Eintritt des Kalciums in die hoch organisirten Verbindungen ist Nichts bekannt.

Das *Magnesium* ist gleichfalls, wenn auch in etwas zurücktretenderen Mengen ein ganz regelmässiger Bestandtheil aller Pflanzenaschen. Nur in den Samen (namentlich in den Samenhüllen der Kleie) pflegt es im Allgemeinen das Kalcium zu

*) Zu erinnern ist hier wenigstens an die von W. Wolf ausgesprochene Thatsache der Wirkung der Kalksalze auf die Entwickelung des Wurzelsystems (vergl. Landw. Versuchsst. 1864 p. 218).

**) Das Studium der Ernährung und besonders des Bedarfs an Aschenbestandtheilen bei den einfachst organisirten chlorophyllhaltigen Algen, wie überhaupt bei Organismen mit wenig complicirten Lebensvorgängen, verspricht hier wie in vielen andern Fällen wichtige Aufschlüsse.

***) Der salpetersaure Kalk hat sich besonders bei Wasserkulturen bewährt; siehe die nächste Vorlesung.

überwiegen, so zwar, dass auch nicht von einer gleichmässigen Vertheilung jenes Elementes in den Pflanzen gesprochen werden kann.

Das Magnesium hält in seinem Vorkommen in den einzelnen Organen ziemlich gleichen Schritt mit dem Phosphor; es folgt also auch einigermassen den Proteïnstoffen auf ihrem Weg durch die Pflanze. Nur in den älteren Blattorganen wird häufig wie an Kalcium so auch ein Reichthum an Magnesium gefunden, so dass dort jener Parallelismus mit dem Auftreten der Phosphorverbindungen erheblich gestört wird, da diese bei dem Altern der Blätter sich mit den löslichen Proteïnverbindungen mehr und mehr zurückziehen.

Die Kulturversuche haben in vollkommener Uebereinstimmung mit einander schlagend bewiesen, dass *die Magnesiumverbindungen von allen höheren Gewächsen,* soweit sie Gegenstand der Versuchsanstellung gewesen sind, *nicht entbehrt werden können.* Samen, in magnesiumfreien Nährstoffgemischen zu Pflanzen erzogen, haben es nie zu einer freudigen Entwickelung, zu einer erheblichen Vermehrung ihres Trockengewichts und entfernt nicht zu einem normalen Vollzug ihres Kreislaufs bringen können, sondern gingen, — die Zusammensetzung der Gemische im Uebrigen mochte sein, welche sie wollte, — unfehlbar in frühen Vegetationsstadien kläglich zu Grunde.

Das *Magnesium* muss desshalb *als ein unentbehrlicher Aschenbestandtheil jener Pflanzen* und *mit der grössten Wahrscheinlichkeit aller höheren Gewächse* bezeichnet werden.

Auch einige niedrige chlorophylllose Organismen wie die Bierhefe *) scheinen des Magnesium's nicht entrathen zu können; und ist für diese Gruppe von Organismen jedenfalls dieser Aschenbestandtheil von viel höherer Bedeutung als das Kalcium — eine Thatsache, die bei der einstigen Begründung der Theorie der Wirksamkeit dieser Aschenbestandtheile von Wichtigkeit sein wird.

Diese Theorie liegt indessen für das Magnesium noch ebenso vollständig in der Wiege, wie für die andern schon behandelten Bestandtheile. Die Vertheilung dieses Grundstoffs durch die verschiedenen Pflanzentheile gibt vorerst noch keine genügende Anhaltspunkte zu einem Verständniss von dessen Funktionen, doch möchte das gleichmässige Vorkommen von Phosphor und Magnesium häufig auf das Bestehen einer beiden gemeinschaftlichen Verbindung eines phosphorsauren Magnesiumsalzes hindeuten. Welches aber die Funktionen eines solchen Salzes sein können, darüber ist es fruchtlos zur Zeit Hypothesen aufzustellen.

Die Aufnahme des Magnesiums in die Pflanze geschieht in ganz analoger Weise wie die des Kalciums. Das Chlormagnesium ist — augenscheinlich wegen seiner ähnlichen Eigenschaften — noch mehr wie das Chlorkalcium eine durchaus schädliche Form für die Aufnahme. Die andern Salze der schon wiederholt genannten Säuren scheinen alle zur Assimilation tauglich zu sein, mögen sie nun an sich löslich oder nur mit Hülfe von andern Beimischungen in Lösung zu bekommen sein. Das schwefelsaure Magnesiumsalz (das gewöhnliche Bittersalz) hat sich in den

*) Vergleiche meine Abhandlung. Landw. Versuchsst. 1869 B. 11 p. 443 u. besonders die Schlussfolgerungen p. 461.

geeigneten Concentrationsverhältnissen am Tauglichsten *) erwiesen für die Zufuhr von Magnesium. Dass wir über die Verarbeitung der aufgenommenen Magnesiumverbindungen in der Pflanze keine näheren Kenntnisse besitzen, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden.

Das Eisen ist endlich der letzte *ganz ausnahmslose* metallische Bestandtheil *aller höheren grünen Gewächse.* Dasselbe findet sich zwar in diesen nur in sehr geringen Mengen vor; und man wird häufig nicht in jeder beliebig kleinen Aschenmenge es nachzuweisen vermögen.

Ueber die Vertheilung dieses Bestandtheils über die einzelnen Organe kann gesagt werden, dass es sich unter allen Umständen in *den grünen Organen* vorfindet, in allen übrigen Pflanzentheilen aber nicht regelmässig nachgewiesen werden kann.

Die Kulturversuche haben nun auch — zwar nicht unmittelbar und nicht ohne zeitweiligen Widerspruch — erwiesen, *dass das Eisen nicht von der höheren grünen Pflanze entbehrt werden kann.* Es gelingt zwar leicht, namentlich aus Samen (die selbst Eisen in Spuren enthalten) Pflanzen in völlig eisenfreien Medien zu erziehen, die es bis zu einer Anfangs ganz normalen Entwickelung bringen; und erst in späteren Vegetationsstadien, bei Entwickelung der späteren Blätter treten Symptome auf, welche auf eine mangelhafte Ernährung schliessen lassen, und von diesem Zeitpunkt an kränkelt die Pflanze, bringt es wohl zu einer Vermehrung der Trockensubstanz, aber entfernt nicht zu einer normalen Vollendung ihres Kreislaufs.

Diese Symptome, welche zuerst in Folge des Ausschlusses von Eisen sich zeigen, bestehen nun einfach in einer *mangelhaften Ausbildung der Chlorophyllkörner,* die unter solchen Umständen keine grüne Färbung annehmen; die sonst grünen Pflanzenblätter erscheinen auch dem unbewaffneten Auge bleich und etwas gelblich gefärbt. Man hat diese Erscheinung mit dem Namen Chlorose **) belegt ***) und hat es also in derselben mit einem Zustande zu thun, der an die Bleichsucht erinnert (an den Zustand, in dem die sonst grüne Pflanze sich befindet, wenn sie durch Abschluss vom Lichte gehindert wird, ihre Chlorophyllkörner normal auszubilden) †), nur dass eben in diesem Falle noch mancherlei andere Veränderungen, die sich auf die Gestaltung der Pflanze beziehen, derselben einen auch sonst von der normalgebildeten Pflanze abweichenden Charakter verleihen. Die chlorotische (oder, wie Knop will, gelbsüchtige) Pflanze unterscheidet sich eben dadurch von der etiolirten oder bleichsüchtigen, dass die sonst grünen Organe sich für das blosse

*) Dasselbe scheint auch für den Hefepilz zu gelten; vergl. meine Untersuchungen: A. a. O.

**) Von Knop ist der Name „Chlorose" in einem ganz eigenthümlichen von dem gewöhnlichen abweichenden Sinne gebraucht worden, was leicht Verwirrung anzurichten im Stande ist.

***) Es scheint nun zwar eine Reihe von ähnlichen Erscheinungen zu existiren, an denen nicht Eisenmangel, und auch nicht Lichtmangel die Schuld trägt; vergl. Knop: Kreisl. des Stoffs. I. p. 610, Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1869. 6. Febr. p. 5; W. Wolf: Landw. Versuchsst. B. 11 p. 114; J. Sachs: Handb. d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 148; auch die mangelhafte Ausbildung des Chlorophyll in der Kälte ist ein Beispiel hierfür.

†) Vergleiche die fünfte Vorlesung p. 64.

Auge durch Nichts Anderes von den normal gebildeten unterscheiden, als durch den Mangel der grünen Färbung, an deren Stelle ein bleicher oder gelblicher Ton tritt.

Der mikroskopische Befund bei der Untersuchung solcher chlorotischer Zellpartien beweist denn auch zur Genüge die unvollständige Ausbildung der Chlorophyllkörner. Alle andern Symptome, die dann später an in eisenfreien Lösungen gewachsenen Pflanzen auftreten, das Innehalten in der Vermehrung der Pflanzenmasse etc. sind als sekundäre Erscheinungen, die aus naheliegenden Gründen der unvollkommenen Ausbildung des wichtigen Chlorophyllorgans nothwendig folgen, aufzufassen.

Es ist nun in sehr vielen Vegetationsversuchen gelungen, *der Chlorose vollständig vorzubeugen durch Erziehung der Pflanzen in* im Uebrigen gleichzusammengesetzten aber *eisenhaltigen Nährstoffgemischen* und sogar dieselbe *nachträglich zu heilen durch Zusatz eines Eisensalzes zu den Nährstofflösungen*: und zwar haben sehr verschiedenartige zusammengesetzte Eisensalze in dieser Richtung gewirkt. Nicht blos eine Reihe von Eisenoxydsalzen, sondern auch Eisenoxydulsalze und sogar eisenhaltige Doppelcyanure (z. B. das gewöhnliche gelbe Blutlaugensalz *) haben gute Dienste geleistet.

Die zweckmässigste Form des Zusatzes von Eisen zu den Nährstofflösungen scheint die zu sein, dass man fein vertheiltes phosphorsaures Eisenoxyd in der Weise aufschlemmt, dass ein Theil dieses Körpers sich auf die Wurzeln festsetzt, wo dann die Pflanze kraft dieser Organe das Eisen in Lösung bringt, in sich aufnimmt und den eisenbedürftigen Organen zuführt.

Von mehreren Seiten **) wird nun auch behauptet, dass es gelänge, die durch Eisenmangel hervorgerufene Chlorose zu heilen durch äussere Application von Eisenlösungen an die Organe, durch deren mangelhafte Chlorophyllbildung die Pflanze bleich erscheint. Die Thatsache indess, dass diese Methode der Heilung von anderer Seite ***) angezweifelt wird, zeigt mindestens, dass dieselbe nicht so regelmässig glückt, wie jene der normalen Zufuhr durch die Wurzeln. Allein es ist auch für diese merkwürdige Art der Verabreichung von Nährstoffen der Alles-beweisende Nachweis †) geglückt, dass das form- und farb-lose Protoplasma der Zellen eines chlorotischen Blattes gerade an den Stellen, wo die Berührung mit einer Eisenlösung stattgefunden hat, nach einiger Zeit in regelmässige Körner zerfällt und seine gewohnte grüne Farbe annimmt.

Für das Eisen ist somit eine *physiologische Funktion* und mit dieser der Grund seiner Unentbehrlichkeit mit voller Klarheit erkannt. *Zur Ausbildung des Chlorophyllorgans in normaler Färbung und Beschaffenheit ist das Eisen unentbehrlich* und, wie es scheint, nur für diesen einzigen Process in der Pflanze unentbehrlich. Alle andern Krankheitssymptome der Pflanze bei Eisenmangel sind

*) Knop: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften 1869. 6. Febr. p. 9 u. f.

**) Vergl. J. Sachs: Handbuch etc. p. 143.

***) Knop: A. a. O. p. 14.

†) Vergl. Sachs a. a. O.

als sekundäre Erscheinungen, veranlasst durch jene mangelhafte Ausbildung, aufzufassen.

Die erkannte Beziehung gewinnt noch an Gewissheit und Bedeutung, wenn hinzugesetzt wird, dass für eine Reihe von niedrigen chlorophyllfreien Organismen das Eisen als völlig entbehrlich gefunden worden ist.

Eine andere tiefer liegende Frage ist nun die, welcher Art die Funktion ist, die das Eisen bei der Chlorophyllbildung ausübt. Wir können auf dieselbe noch lange nicht mit derselben Bestimmtheit antworten, wie auf jene andere. Es ist aber behauptet worden, dass das Eisen ein constituirender Bestandtheil des Chlorophyllfarbstoffs *) selbst sei, dass der chemisch gereinigte grüne Farbstoff des Blattorgans unter allen Umständen eine eisenreiche Asche hinterlasse. Sollte diese Angabe sich bestätigen, so würde die tieferliegende Ursache des Eisenbedarfs des Chlorophyllapparats hinlänglich erklärt sein.

Was die Form der Aufnahme des Eisens betrifft, so sind vorhin schon über diesen Gegenstand einige Bemerkungen gemacht worden. Der Wurzel können sehr verschieden constituirte Eisenverbindungen gegeben werden, nahezu mit dem gleichen Erfolg. Die früher für absolut schädlich gehaltenen Eisenoxydulsalze **) können in hinreichend verdünnter Lösung Dasselbe leisten wie die Oxydsalze, und scheint sich jene Schädlichkeit nur auf concentrirtere Lösungen zu beziehen. Dabei ist allerdings die Auffassung möglich (Knop), dass vor dem Eintritt der Oxydulsalze in die Wurzel Eisenoxydverbindungen gebildet werden. — Noch merkwürdiger erscheint die Fähigkeit der Eisen-Doppelcyanure, die sich ihren Reaktionen nach gar nicht mehr wie Eisensalze verhalten, die Pflanze zu ernähren. Hierbei tritt aber jedenfalls ***) eine Zerlegung unter Mitwirkung der Pflanzenwurzel ein, denn es wird in der Nährstofflösung Berliner-Blau abgeschieden.

In welcher Form aber überhaupt das Eisen in der Pflanze enthalten ist (ehe es dem Chlorophyllapparat angehört) und von Zelle zu Zelle wandert, ist nicht bekannt; dass das Blutlaugensalz auch nach vorgenommenen Einspritzungen niemals im lebenden Pflanzengewebe als solches vorgefunden wird, glaubt Knop †) gezeigt zu haben. Die Verdünnung der Eisenverbindungen in dem Zellsaft dürfte indessen vielleicht in den meisten Fällen, bei dem so ausserordentlich geringen Bedarf der Pflanze an diesen Stoffen, den Nachweis durch unsere gewöhnlichen, wenn auch scharfen Reagenzien verbieten. ††)

---

*) Verdeil u. Pfaundler: Annal. d. Chem. u. Pharm. 115 p. 37—45. Siehe auch die vierte Vorlesung p. 51.

**) Vergl. Landw. Versuchsst. 1869 B. 11. p. 114.

***) Vergl. Knop: A. a. O. p. 10.

†) Vergl. A. a. O. p. 13. Als Beweismittel, namentlich für das Nichtvorkommen von Eisenoxyd- oder oxydulsalzen scheinen mir seine Versuche nicht dienen zu können.

††) Das Eisen scheint übrigens in einzelnen Pflanzen noch eine besondere Rolle zu spielen; wenigstens nimmt die Sumpfpflanze Trapa natans ganz erstaunliche Mengen dieses Stoffes auf, und wurde in der Asche der abgefallenen Früchte 68,6 % Eisenoxyd gefunden. Vergl. über diesen Gegenstand Gorup-Besanez: Jahresber. d. Agrikulturchem. 1861—62. p. 59 und Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 118 p. 220 u. besond. p. 224.

Das ist's, was uns ungefähr hier über die Bedeutung des Eisens für die höhere grüne Pflanze interessiren kann.

Wir haben hiermit unsern Ueberblick über die in den Pflanzen ganz regelmässig vorkommenden Aschenbestandtheile und die Untersuchung derselben auf ihre Bedeutung für das Pflanzenleben vollendet, und wir sind nun im Stande, die im Allgemeinen für die höhere Pflanzenwelt entbehrlichen Bestandtheile von den durchweg unentbehrlichen zu scheiden. Wir können nunmehr aussprechen, dass ausser *Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff* und *Stickstoff* auch noch der *Schwefel* und der *Phosphor*; und von Metallen das *Kalium, Kalcium, Magnesium* und das *Eisen wesentliche Bestandtheile* einer jeden höheren chlorophyllhaltigen Pflanze sind (wenigstens so weit unsere Erfahrung reicht). Man kann dieses Ergebniss in etwas willkürlicherer Weise (und wenn man Rücksicht nimmt auf die Formen der Stoffaufnahme) auch so darstellen, dass man sagt, zur Existenz einer jeden dieser Pflanzen seien folgende Verbindungen nothwendig:

Der *freie Sauerstoff* (zur Unterhaltung der Athmung),
das *Wasser;*

ferner 4 Säuren,

die *Kohlensäure, Salpetersäure* **), *Schwefelsäure, Phosphorsäure,*

und 4 Basen

das *Kalium, Kalcium, Magnesium und das Eisen.*

In dieser Form prägt sich der Bedarf der höheren Pflanze leicht unserem Gedächtnisse ein.

Die andern regelmässig aufgefundenen Aschenbestandtheile, das *Silicium, das Chlor und das Natrium,* können keinenfalls als absolut unentbehrliche Bestandtheile aller dieser Pflanzen bezeichnet werden. Ihr regelmässiges Vorkommen in der Asche derselben muss grossentheils der reichlichen Verbreitung von Verbindungen dieser Grundstoffe in der Natur und damit in der unmittelbaren Umgebung der unter gewöhnlichen Umständen gewachsenen Pflanzen zugeschrieben werden. Damit ist jedoch nicht gesagt, dass nicht diesen Stoffen manche nicht ganz unwichtige, wenn auch zum gedeihlichen Bestehen der Gewächse nicht absolut erforderliche Funktionen allgemeinerer Art (oder nur bei gewissen Pflanzenformen) zukommen können. Für das Chlor und das Silicium scheinen solche vielmehr mit einiger Bestimmtheit erwiesen zu sein.

Neben den mit grosser Regelmässigkeit durch die ganze Reihe von Pflanzenfamilien auftretenden Aschenbestandtheilen sind nun, wie früher angeführt, andere *in mehr vereinzelten Fällen* vorgefunden worden. Auch diese mussten offenbar (wenigstens für die Fälle ihres Vorkommens) auf ihre Nothwendigkeit oder Nützlichkeit untersucht werden, wenn die Beantwortung im positiven Sinne auch unter diesen Umständen eine mit geringerer Wahrscheinlichkeit zu erwartende genannt werden muss.

---

*) Resp. das Ammoniak.

Es ging schon aus der einzig möglichen Theorie der Bedeutung der Aschenbestandtheile unzweifelhaft hervor, dass es im Allgemeinen nicht erlaubt ist, aus der Entbehrlichkeit irgend eines Bestandtheils für einen Organismus einen Schluss zu machen, auf das gleiche Verhalten eines anderen, wenn auch morphologisch verwandten; und einige der (bei der hinter uns liegenden Sammlung der experimentellen Ergebnisse) gemachten Erfahrungen bestätigen die Richtigkeit dieser Anschauung vollkommen. — Ein solcher Schluss würde nur erlaubt sein, wenn es vorher gelungen wäre, die vollkommene Analogie der physiologischen Vorgänge zu erweisen, und dies ist natürlich bei dem Stand unserer Kenntnisse zur Zeit unthunlich.

Wir müssen uns daher von Neuem an die Arbeit machen, — wenn ich auch versprechen kann, dass sie in Kurzem vollendet sein wird, — und die Ergebnisse der in Bezug auf die Bedeutung dieser in mehr vereinzelten Fällen auftretenden Aschenbestandtheile angestellten Kulturversuche zusammenzufassen zu suchen.

Als seltner, doch aber mit einer gewissen Regelmässigkeit in einzelnen Pflanzenarten auftretende Aschenbestandtheile haben wir früher schon genannt: Das *Jod* und das *Fluor* und von Metallen das *Aluminium* und das *Mangan*.

Das *Jod* findet sich in erheblichen Mengen in der Asche einiger Seetange *) **) und Strandpflanzen und in Spuren selbst in einigen Sumpfpflanzen. Im Meerwasser ist das Jod in so geringen Mengen vorhanden, dass in vielen Fällen der Nachweis desselben missglückt ist. Die Pflanzen haben somit die Eigenschaft, diesen Bestandtheil in sich zu concentriren, woraus man schon mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf den Bedarf an diesem Stoffe schliessen kann.***) Mit den eigentlichen jodhaltigen Seepflanzen sind indessen noch keine Versuche angestellt, und bei den vielfachen Kulturen mit andern Pflanzen ist das Jod in keinem Falle als unentbehrlich gefunden worden. Jedenfalls scheint dieses Element für keine landwirthschaftliche Nutzpflanze irgend eine Bedeutung zu haben.

Das *Fluor* ist bei der Analyse der Landpflanzen meistens ganz übersehen worden. Gleichwohl lässt sich auf dessen grosse wenn auch spärliche Verbreitung schliessen, da das Fluor ein regelmässiger und wohl nothwendiger Bestandtheil des höheren Thieres ist: — ich erinnere an den Fluorgehalt der Knochen, namentlich des Zahnschmelzes. In dem Mineralreich und somit in der Ackererde kommt das Fluor in ausgedehnter, wenn auch ziemlich sparsamer Verbreitung vor. Der gewöhnliche *Flussspath* und der *Apatit* sind fluorhaltige Mineralien. — Das Fluor ist nun allerdings in neuerer Zeit von Wicke †) in den Samenhüllen der Getreidearten,

*) In Fuccus saccharinus hat man 0,23 % Jod (bezogen auf die trockene Pflanzenmasse) gefunden. Vergl. L. Gmelin: Chemistry etc. translated by Watts 1849. II. p. 248, ebenda auch Angaben über andere jodhaltige Pflanzen.

**) Die gewöhnlichen Methoden der Gewinnung des Jods waren bisher die Verarbeitung der vorher auf Soda ausgebeuteten Aschenrückstände von Seegewächsen. Dergleichen Aschen werden Varek oder Kelp genannt.

***) Siehe die Vorlesungen über Stoffaufnahme, namentlich die einundzwanzigste.

†) Nach einer mündlichen Mittheilung.

also im Pflanzenreiche aufgefunden worden, und Salm Horstmar *) hat dessen Unentbehrlichkeit für die Entwickelung einiger höheren Pflanzen, gestützt auf einige Kulturversuche, behauptet. Doch kann der Beweis hiefür, Angesichts der vielen entgegenstehenden Resultate anderer Kulturversuche, die voraussichtlich mit ganz fluorfreien Nährgemischen angestellt worden sind, nicht als mit genügender Sicherheit erbracht angesehen werden.

Die Bedeutung des Fluors als Pflanzennährstoff erheischt also eine neue Bearbeitung. — Allein wir können schon jetzt als mit Sicherheit feststehend annehmen, dass diese Frage ebenso wenig wie in Bezug auf andere noch zu behandelnde Stoffe, für welche die Möglichkeit noch vorhanden gedacht werden muss, dass sie gelegentlich irgend eine untergeordnete physiologische Funktion übernehmen können, eine Wichtigkeit für die praktische Landwirthschaft erlangen wird.

In dieser Hinsicht kann als ganz allgemeiner Satz ausgesprochen werden, dass Pflanzennährstoffe, deren Nothwendigkeit nur mit grossem experimentellen Aufwand erwiesen werden kann, in Hinsicht auf die Praxis als solche vernachlässigt werden dürfen, wenn derartigen Fragen auch ein dereinstiges theoretisches Interesse nicht abgesprochen werden kann. Dies liegt einfach darin, dass es sich bei Stoffen, deren Unentbehrlichkeit sich nach wenigen Versuchen nicht sofort herausstellt, niemals um Mengen handelt, die beim landwirthschaftlichen Betriebe irgend in die Wagschale fallen können. In der That werden wir später bei der Düngerlehre klar erkennen, dass nur Stoffe, für die der Nachweis ihrer Unentbehrlichkeit sofort geführt werden konnte und für die sogar diese Unentbehrlichkeit schon lange vor Beginn der Vegetationsversuche aus dem Ergebnisse der rohest ausgeführten Aschenanalysen und gewissen Erscheinungen in der Praxis mit einiger Wahrscheinlichkeit geschlossen worden war, eine Bedeutung als Düngemittel erlangt haben. Aus diesem Gesichtspunkte erklärt sich auch die skizzenhafte Behandlung der noch gelegentlich in einzelnen Pflanzengruppen funktionirenden Aschenbestandtheile, da auch das theoretische Interesse dergleichen Thatsachen, bei unserer unvollkommenen Einsicht in die Wirksamkeit jener Stoffe *vorerst* ein sehr geringes ist.

Das *Aluminium* wird trotz seiner ausserordentlich grossen Verbreitung in den Medien, aus denen die Gewächse in der Natur ihre Nährstoffe assimiliren, verhältnissmässig selten als Aschenbestandtheil derselben angetroffen, und wo wir in einer Aschenanalyse unserer bekanntesten Pflanzen Thonerde mit als Bestandheil angeführt sehen, da haben wir meistens guten Grund zu vermuthen, dass dieselbe aus den an den gesammelten Pflanzen klebenden Unreinigkeiten (Erdtheilchen) stammt und nicht ein wirklicher Bestandtheil des Organismus war.

Gleichwohl findet sich das Aluminium in einer Reihe von Pflanzen als regelmässiger Bestandtheil und häufig nicht in ganz untergeordneten Mengen vor. So findet sich in *Lycopodium complanatum* **) essigsaure Thonerde in solchen Mengen, dass die Lauge dieser Pflanze direkt als Beize in der Färberei verwendet werden soll.

---

*) Journ. f. pr. Chem: B. 40. p. 302.

**) Auch die Asche anderer Lycopodiaceen und vieler Flechten ist Thonerde-haltig. Vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs. I. p. 263.

Dasselbe Salz ist in den Weintrauben gefunden worden; und dass verschiedene Theile des Rebstocks bei der Einäscherung Aluminium-Verbindungen hinterlassen, ist eine sicher festgestellte Thatsache. Vauquelin *) will ferner im Birkensaft essigsaure Thonerde gefunden haben, was jedoch als eine Anomalie betrachtet werden muss.

Es sind mit diesen Pflanzen indessen bis dahin noch keine Kulturversuche angestellt worden, um die Frage nach der Bedeutung des Aluminiums zu entscheiden; doch deutet die Art des Vorkommens im Lycopodium **) auf eine Beziehung dieses Elementes zu eigenthümlichen, wenn auch unbekannten Verrichtungen dieser Pflanze.

Das *Mangan* ist ganz im Gegensatz zum Aluminium ein weit verbreiteter Aschenbestandtheil, wird aber meist nur in geringen Mengen ***) gefunden. Es erklärt sich dieses Vorkommen genügend aus der ziemlich grossen Verbreitung dieses Elementes im Mineralreiche. Genügende Beweise für die Unentbehrlichkeit oder Nützlichkeit dieses Elements für irgend ein Glied der Pflanzenwelt sind nicht beigebracht worden.

An die eben behandelten gelegentlich vorgefundenen Aschenbestandtheile schliessen sich dann auch noch die übrigen noch seltener vorgefundenen an, für die indessen theilweise das über die zuletzt genannten Gesagte gelten kann.

Lithium findet sich in sehr geringen Spuren in grosser Verbreitung, da es im Boden als Lithionglimmer ein in sparsamen Mengen sehr gewöhnlicher Bestandtheil ist. Dasselbe scheint übrigens von der Pflanzenwelt concentrirt zu werden.

Etwas Aehnliches gilt für das durch die Spektralanalyse ebenso sicher in sehr kleinen Spuren nachweisbare *Rubidium*; auch dieses Metall ist vermittelst jener für agrikulturchemische Zwecke allzuscharfen Methode wiederholt in den Pflanzen nachgewiesen worden. †)

Ebenso ist das *Kupfer* in sehr vielen Pflanzen nachgewiesen worden, wenn auch nur in sehr geringen Mengen. ††) †††)

---

*) Vergl. Boussingault: Die Landwirthschaft etc. deutsch von Gräger. 1844. I. pag. 81.

**) Knop (A. a. O.) scheint dagegen anzunehmen, dass diejenigen Pflanzen Thonerde in sich aufnehmen, die starke Säuren in ihren Wurzeln (oder den entsprechenden Organen) enthalten, und dass der Gehalt an Aluminium dennoch als in gewissem Sinne zufällig aufzufassen sei. — Ueber Flechtensäuren vergl. Rochleder: Phytochemie 1854. pag. 305.

***) In einzelnen Fällen in sehr grossen Mengen nachgewiesen. Padina pavonia (ein Seetang) enthielt über 8 % (?) von dem Gewicht der trocknen Pflanze, obgleich im Meerwasser kaum der Nachweis von Mangan gelingt; vergl. Liebig: Die Chemie etc. 1862. II. p. 55; ferner in Trapa natans; vergl. Gorup-Besancy: Jahresber. f. Agrikulturchemie 1861—62. p. 59.

†) Grandeau: Compt. rend. T. 54 p. 1057.

††) Vergl. Heiden: Düngerlehre I. p. 202.

†††) Bei den Angaben über Nachweis von Kupfer, die sich beinahe auf alle Organismen erstrecken, ist wohl zu berücksichtigen, dass man auch in kupferfreien Substanzen Kupfer findet, wenn man sich der Methode der Reduktion des Metalls vor dem Löthrohr und dabei eines messingnen Brenners oder Löthrohrs bedient. Vergl. H. Lossen: Chem. Centralbl. 1866 p. 361.

Brom ist wie *Jod* in Seetangen und dergleichen gefunden worden.

Für das Vorkommen von *Bor, Strontium, Barium* im Pflanzenreich liegen nur ganz vereinzelte Beobachtungen vor. — Für keine dieser zuletzt genannten Stoffe ist der Nachweis der Unentbehrlichkeit oder der Nützlichkeit auch nur in einem einzelnen Falle mit einiger Sicherheit geführt worden.

Nur ein *einziger* der ganz selten vorkommenden Aschenbestandtheile eines Vegetabils muss als eine wesentliche Rolle bei den Lebensvorgängen des letzteren spielend angesehen werden, das *Zink*. Dieses metallische Element ist (ausser in geringen Spuren in der Rinde einiger Waldbäume) in erheblichen Mengen in einer Spielart des Veilchens, dem sogenannten *Galmeiveilchen, das nur auf zinkhaltigen Böden* in der Nähe von Zink-Hütten, -Bergwerken und dergl. vorkommt, ebenso in den *entsprechenden Spielarten* anderer Pflanzen z. B. von *Thlapsi alpestre*, in geringeren Mengen auch in vielen andern auf zinkhaltigem Boden gewachsenen Pflanzen nachgewiesen worden. *) Die von der gewöhnlichen Ernährung *abweichende Ernährung mit zinkhaltigen Stoffen* hat bei den genannten Pflanzen offenbar nach und nach *eine erhebliche Aenderung des Artcharakters* erzeugt.

Es ist dies ein theoretisch sehr interessantes Beispiel von der Wirkung der Aschenbestandtheile auf den Vollzug einzelner Vegetationserscheinungen in der Pflanze und ebenso von der Befähigung dieser letzteren, sich an die einmal gegebenen Verhältnisse mit der Zeit (jedenfalls auf dem Wege der natürlichen Züchtung) anzupassen.

Hiermit hätten wir aber endlich den Ueberblick über die Bedeutung der einzelnen in den Vegetabilien vorgefundenen feuerfesten Bestandtheile, so weit er für unsere Zwecke angemessen erschien, beendigt.

Siebzehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandtheile der Pflanze. — Allgemeinere Betrachtungen. — Die Aschenanalyse. — Aschentabellen.

Wir kennen nun nach den Mittheilungen der letzten Vorlesung vollständig das Bedürfniss der Pflanzen, namentlich der uns bekannteren Pflanzen an feuerbeständigen Stoffen und, da uns schon vorher die pflanzlichen Nährstoffe, aus deren Assimilation und Verarbeitung die organische Substanz resultirt, bekannt waren, so konnten wir aussprechen, aus dem Zusammentritt, von welchen Stoffen der Pflanzenleib aufgebaut wird. Wir haben gesehen, dass ausser dem einen unentbehrlichen Stoff, der nicht als eigentlicher Nährstoff bezeichnet werden kann, weil bei dessen Eintritt die organische Substanz der Pflanze (oder richtiger deren chemische Spannkraft) sich vermindert, *dem Sauerstoff*, folgende wirkliche Nährstoffe sich an dem

*) Vergl. Risse (in Sachs: Handb. d. Experim. Phys. d. Pfl. p. 153).

Aufbau des Pflanzenleibes im Allgemeinen betheiligen: Das *Wasser*, dann vier Mineralsäuren, die *Kohlensäure, Salpetersäure, Schwefelsäure* und *Phosphorsäure* und vier Basen, das *Kali,* der *Kalk,* die *Magnesia*, das *Eisen*.

Diese Ausdrucksweise für die bis jetzt behandelten Sätze der Pflanzenernährungslehre ist zwar nicht ganz scharf, da man es in der Natur niemals mit den Säuren und Basen an sich, sondern mit Salzen zu thun hat, die nur nach einer theoretischen Betrachtungsweise als aus Säuren und Basen bestehend angesehen werden können, da ferner die Salpetersäure durch Ammoniak und einige andere chemische Formen des Stickstoffs, und (für eine Reihe von grünen Pflanzen) die Kohlensäure theilweise auch durch schon gebildete organische Substanz vertreten werden kann; — allein die gewählte Ausdrucksweise ist sehr bequem, und lässt nach den gemachten Zusätzen kein Missverständniss zu.

Auf Grund dieser Kenntniss des Rohmaterials, aus dem der Pflanzenleib — sind nur die erforderlichen Bedingungen des Zusammentritts gegeben — sich bildet, ist es nun möglich, die *Zusammensetzung jener Nährstofflösungen* kennen und verstehen zu lernen, in denen es gelingt, die Pflanzen in üppigem Gedeihen zu erziehen.

Eine einfach zusammengesetzte Lösung, bestehend aus einem Aequivalent saurem phosphorsaurem Kali, einem Aequivalent schwefelsaurer Magnesia auf 2 Aequivalente salpetersauren Kalk, in einer so grossen Menge Wasser gelöst, dass die Concentration 2 oder 3 Promille beträgt, und der noch etwas phosphorsaures Eisen im aufgeschlemmten Zustande beigegeben ist, so dass dieses sich auf die Wurzeln ablagern kann, leistet bei der Ernährung der meisten Pflanzen gute Dienste. Noch etwas bessere Resultate scheint man zu erhalten, wenn man noch ein Aequivalent salpetersaures Kali hinzusetzt. Auch kommt es auf die relativen Verhältnisse der einzelnen Salze nicht allzu ängstlich an. So gibt auch Knop *) folgende Mischung als sehr zweckdienlich für die Kultur der meisten Pflanzen an: 1 Gewichtstheil salpetersauren Kalk auf je $^1/_4$ Gewichtstheil salpetersaures Kali, saures phosphorsaures Kali und Bittersalz auf 1000 Gewichtstheile Wasser (also Gramme auf den Litre Wasser), oder auch noch etwas mehr Wasser. In dem Litre dieser Lösung werden dann noch 2 Decigramme phosphorsaures Eisen aufgeschlemmt.

In derartigen Lösungen, die von verschiedenen Experimentatoren in etwas verschiedenen Verhältnissen angewendet worden worden sind, sind nun sämmtliche pflanzliche Nährstoffe enthalten, mit Ausnahme der Kohlensäure, die in der atmosphärischen Luft, in welche die oberirdischen Theile der Pflanzen hineinragen, in (für die Zwecke dieser Kulturen) genügender Menge sich vorfindet.

Die Concentration solcher Nährstofflösungen können schwanken von 0,5—5 Promille. **) ***) Viele der Anfangs unternommenen Kulturversuche sind an der zu

*) Vergl. dessen Kreisl. d. Stoffs. I. p. 604—606.

**) Vergl. Ebenda.

***) Bei den Sandkulturen kann man sehr viel höhere Concentrationen ohne allen Schaden anwenden (vergl. Hellriegel: Jahresber. d. Agrikulturchem. 1861—62 p. 115), und ist für dieses Verhalten bisher noch keine plausible Erklärung aufgefunden worden

hoch gegriffenen Concentration gescheitert. Ganz allgemein Gültiges lässt sich indessen über die zu wählende Verdünnung Nichts sagen, da hierbei selbst auf die gewählten Salze, ebenso aber auf die zu kultivirenden Pflanzen Rücksicht genommen werden muss. Knop gibt an,*) bei der Kultur einjähriger Pflanzen wähle man am Besten für die ersten Stadien der Entwickelung Lösungen von 0,5—1 Promille Salzgehalt, dann solle man die Concentration bis zur Blüthe nach und nach etwas steigern, nach dieser Vegetationsperiode gedeihe aber die Pflanze auch vollkommen in reinem destillirtem Wasser. — Für die perennirenden Gewächse, namentlich für die Bäume wird die ganze sommerliche Vegetationsperiode hindurch ebenfalls eine Concentration von 0,5—1 Promille empfohlen, nach dem Abwerfen der Blätter jedoch reines Wasser. Ferner scheint der Experimentator seine Lösungen zweckmässiger Weise auch nach der Witterung richten zu müssen. Bei heisser Witterung und grosser Transpiration der Blätter scheint man mit verdünnteren Lösungen, in kühleren Sommern mit concentrirteren Lösungen weiter zu kommen.**)

Hiermit sind indessen die Regeln, die der Versuchsansteller bei der Methode der Wasserkultur — und ganz Aehnliches gilt natürlich auch über die von dieser Methode nur wenig verschiedenen Kultur in reinem Sand und dergleichen Materialien — nicht ausser Augen lassen darf, noch bei Weitem nicht erschöpft. Die Pflanzen bringen nemlich, wie wir schon früher einmal angedeutet haben, durch ihre eigene Assimilation Aenderungen in der Zusammensetzung der ihnen dargebotenen Nährstoffgemische hervor und zwar theilweise tiefgreifende Aenderungen, die diese Lösungen mit der Zeit zu sehr schädlichen für das Pflanzenleben machen. Die gewöhnliche Ackererde vermag durch eine Reihe von Reaktionen, die in ihr mit Zuhülfenahme einer grossen Menge von Nicht-Nährstoffen möglich sind, derartigen Schädigungen durch das Pflanzenleben vorzubeugen; — in der künstlich zusammengesetzten Nährstofflösung ist dies natürlich nicht der Fall.

Wenn nemlich eine in einer wässrigen Lösung erzogene Pflanze die Nährstoffe so dargeboten bekommt, dass die näheren Bestandtheile der verabreichten Salze in sehr verschiedenem Grade assimilationsfähig sind, so wird leicht Veranlassung zu einer Reaktionsänderung gegeben. Bekommt z. B. eine Stickstoff-bedürftige Pflanze diesen Grundstoff in Gestalt von Salmiak, so wird das Ammoniak dieses Salzes rasch assimilirt und verarbeitet, die Salzsäure bleibt übrig, da für sie als solche keine Funktion in der Pflanze und keine Möglichkeit der Verarbeitung existirt, und wird durch die Wurzeln (osmotisch) ausgeschieden. Unter diesen Umständen wird die Nährstofflösung, namentlich bei intensiver Vegetation der kultivirten Pflanze, saurer und saurer***)

*) Ebenda p. 607.

**) Ich wiederhole es, dass es bis jetzt unerklärt ist, warum bei der Kultur in Nährstofflösungen Concentrationsänderungen (oder auch Aenderungen in der Zusammensetzung) nach den einzelnen Vegetationsperioden zweckdienlich erscheinen, indem in der Natur keine Einrichtungen der Art bestehen, wenigstens nicht in demselben Sinne wirken; vergleiche die neunundzwanzigste Vorlesung, wo von den entsprechenden Verhältnissen des Bodens die Rede ist.

***) Auf dieser Eigenthümlichkeit mancher Chlorverbindungen, unter gewissen Umständen zur Ansäuerung der Nährstofflösungen beizutragen, kann in einzelnen Fällen der

werden. Eine stark saure Lösung ist aber für die Pflanzenwurzel schädlich, und greift der Versuchsansteller nicht rasch durch Zuführung von alkalischen Substanzen in den Verlauf dieses Processes ein, so hat sich die Pflanze in einer Anfangs ganz zuträglichen Nährstofflösung durch ihre eigne Vegetationsthätigkeit zu Grunde gerichtet.

Umgekehrt, wenn sich in der Anfangs neutralen oder sehr schwach sauren Nährstofflösung, wie sie für die Pflanze zuträglich ist, salpetersaure Salze befinden, deren Basis von der Pflanze in geringerem Verhältniss verarbeitet wird, als die stickstoffhaltige Säure, so scheiden die Wurzeln sehr bald diesen unverwendbaren Theil der Basis wieder an Kohlensäure gebunden ab,*) (welche letztere Verbindung ja durch die Thätigkeit der Athmung überall im pflanzlichen Gewebe und namentlich an der Stätte, wo Salpetersäure zu Proteïnstoffen verarbeitet wird,**) Entstehung nimmt). — Auf diese Weise werden die Nährstofflösungen alkalisch und damit in hohem Grade schädlich für die Pflanzenwurzel. Es treten dann sehr bald Erscheinungen ein, die diese Thatsache bezeugen. Die Wurzeln sterben theilweise ab und faulen; es treten so durch die sich oxydirende todte organische Substanz Reduktionsprocesse ein; es bildet sich eben durch diesen Reduktionsprocess Schwefeleisen***) aus der vorhandenen Schwefelsäure und dem Eisenoxyd, oder doch wenigstens Eisenvitriol, der wieder schädlich auf die noch lebenden Wurzeln wirkt. — Kurz die Pflanze stirbt sehr bald, indirekt in Folge ihrer eignen Vegetationsthätigkeit ab, wenn nicht der Experimentator auch für diese Veränderungen ein scharfes Auge hat, von Zeit zu Zeit mit Lakmuspapier die Reaktion seiner Lösungen prüft und zu rechter Zeit die alkalische Reaktion durch Zusatz von einigen Tropfen wässriger Phosphorsäure wieder aufhebt.

Man wird im Stande sein, das Verdienst derjenigen, die sich an der Ausbildung dieser Wasserkultur betheiligt haben, zu würdigen, wenn man nur einen Theil dieser Schwierigkeiten berücksichtigt, die nothwendig beseitigt werden mussten, ehe man an eine Verwendung jener Kulturmethoden zu wissenschaftlichen Zwecken denken konnte.

Der Charakter der, durch die häufig bei der Vegetation eintretende einseitige Assimilation bedingten, schädlichen Veränderungen der Nährstofflösungen macht nun auch die Zweckmässigkeit der Anwendung jener anderen Massregeln leicht erklärlich, welche in einer häufigen Erneuerung der Nährstofflösungen, oder in der Verwendung sehr grosser Quantitäten derselben bestehen.

Nutzen dieser Verbindungen für die Vegetation beruhen, da durch die genannte Eigenschaft dem Alkalischwerden der Lösungen, von dem wir gleich zu sprechen haben werden, vorgebeugt werden kann.

*) Vergl. Knop: ebenda p. 604 und Stohmann: Landw. Versuchsst. 1862 p. 66.

**) Vergleiche die zehnte Vorlesung p. 152.

***) Aehnliche Reduktionserscheinungen, die mit der Bildung von schwarzem Schwefeleisen verknüpft sind, treten auch ein, wenn das Kulturgefäss so sehr mit der Masse der Wurzeln angefüllt ist, dass der Sauerstoffzutritt verhältnissmässig gering ist, und die Fäulniss einzelner abgestorbener Wurzelpartien den Salzen selbst den Sauerstoff entzieht. Vergl. J. Sachs: Landw. Versuchsst. 1866 p. 266.

Auch in sauren Lösungen tritt mitunter Bildung von Schwefeleisen ein. Vergl. Knop: Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 129 p. 321.

Als Parallele für die Aufnahme der mineralischen Nährstoffe und der günstigsten Form ihrer Darbietung mögen auch hier einige Worte über die Form der Aufnahme der Aschenbestandtheile bei niedrigen chlorophylllosen Organismen gesagt werden. Es liegen für einige in diese Klasse gehörige Organismen eine geringe Zahl von Angaben vor. Die gewöhnliche Bierhefe Cryptococcus cerevisiae gedeiht,*) wenn man sie neben Zucker mit rein anorganischen Stoffen ernähren will, sehr gut in einer 15—22procentigen Zuckerlösung, der 5 Promille saures phosphorsaures Kali, 2 $^1/_2$ Promille schwefelsaure Magnesia (krystallisirtes Bittersalz) und $^1/_2$ Promille dreibasisch phosphorsaurer Kalk zugesetzt wurden, und die ausserdem 7 $^1/_2$ Promille salpetersaures Ammoniak enthält. Salpetersäure ist in diesem Falle jedenfalls nicht, Kalk wahrscheinlich nicht als wirklicher Nährstoff, sondern nur als eine gute chemische Form des Nährstoffgemischs herbeiführend anzusehen. Gibt man dagegen den Stickstoff in Form von organischer Substanz als Pepsin, das (nach der gewöhnlichen Darstellungsweise) stets schwefelhaltig ist, so kann als zweckmässige mineralische Ernährung auch dienen: dieselbe Menge von saurem Kaliphosphat und von schwefelsaurer Magnesia, aber ohne phosphorsauren Kalk, — mit etwas geringerem Erfolg, Kaliphosphat und 3 Promille phosphorsaure Magnesia-Ammoniak. Die an sich unlöslichen Phosphate der alkalischen Erden gehen dabei durch die Kohlensäure, die sich bei der Gährung entwickelt, durch das saure Kalisalz etc. zur richtigen Zeit in Lösung über.

Man sieht aus diesen wenigen Angaben, dass auch bei dem verschiedenen Nährstoffbedürfniss, welches ein solcher Pilz den höheren Pflanzen gegenüber hat, doch die chemische Form der Zufuhr für manche Stoffe eine ähnliche ist, wenn man z. B. in beiden Fällen die Nährstofflösungen, die sich als am Meisten zweckmässig bewiesen haben, mit einander vergleicht.

Was die Concentrationen jener Lösungen bei der Ernährung des genannten Repräsentanten niedriger Organismen betrifft, so ist allerdings ein bedeutender Unterschied gegenüber der höheren grünen Pflanze in die Augen springend. Dieser besteht in den sehr viel höheren Concentrationen, die sich für die Ernährung des Bierhefepilzes tauglich gezeigt haben, wie aus den gemachten Angaben zur Genüge hervorgeht. Ich kann hinzufügen, dass mit diesem Verhalten auch eine sehr erhöhte Unempfindlichkeit jenes Pilzes gegen fremde salzartige Beimischungen Hand in Hand geht.

Die gemachten Angaben über die zweckmässigste Weise der Ernährung in wässrigen Medien mögen hier genügen. Wir werden später sehen,**) dass die Pflanzen draussen in der Natur, wo ihre Wurzeln nicht in einfache Lösungen tauchen, sondern in Flüssigkeiten, die mit den zur Zeit festen Bodentheilchen in mannigfacher Wechselwirkung stehen, wo endlich diese Wurzeln selbst mit festen Bodentheilchen, die nicht wie bei der Salm Horstmar-Hellriegel'schen Kulturmethode aus durchaus indifferenten unangreifbaren Substanzen, sondern aus theilweise durch schwache Mittel in Lösung überzuführenden Stoffen bestehen, in Berührung kommen und auf sie einzuwirken fähig sind, in von unserer bisherigen Darstellung ganz abweichenden

*) Vergl. meine „Untersuchungen über die alkoholische Gährung etc." 1869.

**) Vergl. besonders die neunundzwanzigste Vorlesung.

Bedingungen sich befinden. — Wir können schon jetzt aus diesem Verhältniss schliessen, dass unter diesen natürlichen Verhältnissen auch die Stoffaufnahme in etwas abweichender Weise erfolgt.

Ehe wir das Kapitel von den Aschenbestandtheilen völlig verlassen, müssen wir einer Ausdrucksweise Erwähnung thun, die gerade in Bezug auf die Ernährung der Pflanzen durch mineralische Stoffe viel in Anwendung gekommen ist, deren Sinn aber nach dem bisher Erwähnten vollkommen dunkel bleiben müsste, und einige Betrachtungen an dieselbe anknüpfen. Die Idee, die dieser Ausdrucksweise zu Grunde liegt, konnte, als man mit den Versuchen über Pflanzenernährung durch die genannten Substanzen begann, als eine glückliche bewillkommt werden. — Leider hat sich aber die Hypothese, die sie einschliesst, im Laufe dieser Versuche als durchaus unhaltbar erwiesen. Es beruht, wie wir gleich erkennen werden, auf einer gewissen Unklarheit, wenn man jene Hypothese heute noch als eine, in gewissen Grenzen möglicherweise sich verwirklichende, oder gar als eine mit den Thatsachen verträgliche Theorie behandelt und jene alte Ausdrucksweise immer wieder von Neuem hervorsucht.

Ich meine die sogenannte *Substitution* der Pflanzennährstoffe, worunter man die Fähigkeit von Stoffen versteht, für chemisch ähnliche (gewöhnlich isomorphe) Substanzen in den Organismus einzutreten, um dort die Funktionen des vertretenen Bestandtheils auszuüben.

Die ursprüngliche Bearbeitung dieser Frage war ohne allen Zweifel von der höchsten Wichtigkeit. Es war von ganz entscheidender Bedeutung für die Theorie der Pflanzenernährung, ob eine solche Vertretbarkeit der einzelnen Nährstoffe stattfinden könne oder nicht, ob isomorphe Basen oder Säuren sich einander in den Funktionen zu vertreten fähig wären, oder ob dies nicht der Fall sei.

Allein, sobald einmal *die absolute Unentbehrlichkeit einzelner Nährstoffe* für die Existenz eines Organismus oder eine Funktion in demselben *erwiesen war*, sobald war es auch ein Verfahren ohne alle Logik, noch von der Substituirbarkeit eines solchen Stoffes durch einen andern zu reden; denn in diesem Falle hätte sich ja bei genügender Variation der Nährstofflösungen eine *eventuelle Entbehrlichkeit* des betreffenden Stoffs ergeben müssen.

Da man durch den Versuch fand, dass dies nicht möglich sei, dass die wirklichen Nährstoffe, für die man die Frage nach der Substitution aufgeworfen hatte, sammt und sonders unentbehrlich seien, da fing man an, — und hier beginnt der Fehler — von einer *theilweisen Vertretbarkeit* derselben zu sprechen. Hierbei übersah man, dass (wenn wir auch ganz über die Unwahrscheinlichkeit dieser Vermuthung, die darin lag, dass man annahm, der stellvertretende Stoff könne nur bis zu einem gewissen Grad die Funktionen des andern verrichten, wegsehen) wir in der That kein Mittel haben, eine solche theilweise Stellvertretung zu erkennen. Wir wissen, dass die Pflanzen nicht blos Stoffe aus ihrer Umgebung aufnehmen, deren sie bedürftig sind, sondern auch eine Reihe von andern, selbst giftigen Substanzen,*) die ihr zufällig in den Weg kommen, und dass sie solche Stoffe bis zu gewissen Grenzen in um so höherem Massstabe aufnehmen, als sie ihnen in grösserer Menge geboten

*) Vergl. die einundzwanzigste Vorlesung.

werden. Wenn man nun einen Kulturversuch anstellt und in dem Nährstoffgemenge eine sogenannte Substitution vornimmt, einen Nährstoff durch einen chemisch ähnlichen z. Th. ersetzt, so ist doch offenbar Nichts in der Welt natürlicher, als dass wir den Nährstoff im Allgemeinen in geringeren Mengen, den „substituirenden Stoff“ in grösseren Mengen als vorher in den Organen der Pflanze vorfinden. Ich sage, es ist durchaus unlogisch, in solch' einem Fall von der theilweise gelungenen Substitution eines Pflanzennährstoffs zu reden, selbst wenn die Vertretung in irgend einem Versuch einmal in äquivalenten Mengen stattgefunden hat. Um eine derartige Behauptung aufzustellen, wäre nothwendig, eine Kulturmethode ausgebildet zu haben, nach der es möglich wäre, den Effekt eines Nährstoffs in dem Organismus der Grösse nach zu bestimmen, ein Mass für dessen Leistung*) zu besitzen. Erst dann wäre es mit den Grundsätzen einer gesunden Naturforschung verträglich, die Frage nach der Möglichkeit einer theilweisen Substitution wieder aufzunehmen.

Das eben Gesagte gilt indessen nur für die *unentbehrlichen und nicht für die nützlichen Nährstoffe,* und es hat wenigstens einen ganz guten Sinn, wenn man z. B. Versuche zur Ergründung der Vertretbarkeit von Chlormetallen durch Brommetalle an Pflanzen, bei denen man nützliche Wirkungen der Chlormetalle beobachtet hat, anstellt, wenn auch nach den Erfahrungen, die man bis jetzt über die specifische Wirksamkeit der einzelnen Aschenbestandtheile gemacht hat, die Aussicht auf Erfolg ein sehr geringer ist.

Durch diese allgemeinen Bemerkungen ist alles Wesentliche, was über Substitution pflanzlicher Nährstoffe gesagt werden kann, eigentlich vollständig erledigt. Dennoch müssen wir noch auf einige nähere Details dieses Gegenstandes eingehen, da die Irrthümer, die sich an ihn knüpfen, eine ziemlich grosse Rolle in der Geschichte unserer Wissenschaft gespielt haben und noch spielen.

Es ist Liebig, der zum ersten Male von einer Substitution der Pflanzennährstoffe gesprochen hat und gewisse Thatsachen in Händen zu haben glaubte, die auf eine solche hinwiesen. Es geschah dies in seinem vielgenannten Werke von 1840**), also zu einer Zeit, wo die Unentbehrlichkeit einzelner Aschenbestandtheile für bestimmte Pflanzen noch nicht erwiesen war und von Vielen auch noch nicht geahnt wurde. Damals war die Fragestellung also eine ganz zeitgemässe***), und mit keiner bekannten Thatsache im Widerstreite. — Die von Liebig entwickelte Substitutionshypothese für die mineralischen Basen stand sogar mit einem rationellen Erklärungsversuch der Bedeutung der Aschenbestandtheile in einer genauen Beziehung. Die Annahme bestand wesentlich in Folgendem:

*) Nur die von Hellriegel ausgebildete Methode (vergl. Landw. Versuchsst. 1869 p. 137) ist vielleicht in der angedeuteten Richtung einst verwendbar, da sie sich die Aufgabe gestellt hat, mit Inanspruchnahme der möglichst kleinen Aschenmenge den grösstmöglichsten Ertrag zu erzielen, und so wenigstens ein Anhaltspunkt für den Effekt der Nährstoffe gegeben ist.

**) p. 87 u. ff.

***) Um so unzeitgemässer ist dieselbe in den neueren Auflagen des Liebig'schen Werkes, aus denen sie aber wohl nur aus einer Art von Pietät gegen das einmal Geschriebene nicht ausgemerzt wurde.

Es wurden die Analysen zweier Fichten- und zweier Tannen-Aschen*) mit einander verglichen und nachgewiesen, dass in 100 Theilen Asche für je zwei zusammengehörige Fälle nahezu gleiche Mengen Sauerstoff in den in Aschenprocenten ausgedrückten Mengen der einzelnen, an Kohlensäure gebundenen Basen enthalten waren, d. h. dass auf gleiche Mengen mineralischer Bestandtheile einander aequivalente Mengen an Kohlensäure gebundener Basen in den Aschen einer und derselben Pflanzenart vorhanden waren.**) Aus diesem vereinzelt dastehenden und nicht einmal sicher festgestellten Sachverhalt wurde ein Satz ganz allgemeiner Natur abgeleitet, welcher aussprach, dass einer jeden Pflanzenasche eine nach Aequivalenten messbare ganz bestimmte Menge von Basen zukäme, innerhalb welcher eine Base die andere vertreten könne.

Wenn wir uns überlegen, was durch diesen sogleich verallgemeinerten Satz, der auf so ganz vereinzelten und dazu noch sehr unzuverlässigen Belegen ruhte, eigentlich ausgedrückt war, so müssen wir einmal hervorheben, dass bei Aschen, wie Holzaschen, in denen stets fixe Säuren in sehr zurücktretenden Mengen vorhanden sind, also vorzugsweise kohlensaure Salze gefunden werden, schon eine ziemlich hohe Wahrscheinlichkeit besteht, die an Kohlensäure gebundenen Basen in procentisch ziemlich gleichen Mengen (und bei dem ganz unbedeutenden Unterschied der Aequivalentgewichte der hauptsächlich variirenden Basen, des Kalks und des Natrons) auch nahezu in äquivalenten Mengen anzutreffen. Es ist ferner klar, dass die in der Asche an Kohlensäure gebundenen Basen entfernt nicht genau den in der lebenden Pflanze an organische Säuren gebundenen Basen zu entsprechen brauchen, da die in der Pflanze frei in die Zellmembran eingelagerte Kieselsäure in der Asche an Basen gebunden auftritt, da in der lebenden Pflanze schon kohlensaure Salze vorhanden sein konnten u. s. f., ein Umstand, der für die Liebig'sche Argumentation von Wichtigkeit ist.

Es ist ferner einleuchtend, dass Liebig der eigenen, auf diese so schwache Unterlage gestellten Theorie, sofort wieder die Spitze abbricht, wenn er die Pflanzenalkaloïde als wirksame Stellvertreter dieser anorganischen Basen, deren Constanz in der Asche er soeben bewiesen hatte, unter Zuhülfenahme einer neuen Hypothese ansieht.***) Auch bedarf es der Versicherung nicht, dass jener Satz durch die vielen

*) Die eine, noch von de Saussure ausgeführt, gab keine Magnesia an, war also jedenfalls grundfalsch, wie schon Sprengel hevorhob.

**) Vergl. auch die Ausführungen Liebig's: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 38. p. 249.

***) Es finden sich in der That in dem Liebig'schen Werke durch alle die vielen Auflagen hindurch auf einer und derselben Seite (p. 92 des Buches v. 1840) Behauptungen in dieser Richtung, die als einander widersprechend angesehen werden müssen. Es heisst daselbst: „denn es ist klar, wenn die Erzeugung von bestimmten unveränderlichen Mengen „von pflanzensauren Salzen durch die Eigenthümlichkeit ihrer Organe geboten, wenn sie zu „gewissen Zwecken für ihr Bestehen unentbehrlich sind, so wird das Fehlende durch andere „alkalische Basen von gleichem Wirkungswerthe ersetzt werden; wenn ihr keine von „allen sich darbietet, so wird sie nicht zur Entwickelung gelangen." und einige Sätze nachher die neue Theorie, dass die Pflanze, wenn sich ihr keine jener Basen darbietet, sie selbst organische Basen producirt: „Wir sehen z. B., wenn wir Kartoffeln unter „Umständen wachsen lassen, wo ihnen die Erde, als das Magazin anorganischer Basen fehlt,

später angestellten Aschenanalysen keine weitere Bestätigung erhielt. Wer sich hiervon noch besonders zu überzeugen für nöthig hält, dem empfehle ich aus den in der Auflage des Liebig'schen Werkes von 1862 mitgetheilten Aschenanalysen einige beliebige herauszugreifen, um den Satz zu prüfen. Man wird häufig eine annähernde Uebereinstimmung des Sauerstoffgehalts der an Kohlensäure gebundenen Basen finden, aber nicht öfter, als dies die einfache Wahrscheinlichkeit fordert. Häufig — ich empfehle hiezu namentlich die Aschenanalyse des Tabaks (p. 410)*), — wird auch das Gegentheil einer Uebereinstimmung das Resultat der Bemühungen sein, und wie ist dies anders möglich, da wir die Fähigkeit der Pflanzen kennen, nicht blos Stoffe, die sie brauchen, aufzunehmen, sondern auch solche, die für sie keinerlei Nutzen haben, ihr aber gelegentlich in den Weg kommen. Die zufällige Aufnahme einer geringen überschüssigen Menge schwefelsauren Kalis oder Chlornatriums, deren Säure dann in der Pflanze nicht verarbeitet wird, muss ja die ganze Berechnung zu Schanden machen. **)

Ich hebe nochmals hervor, der ursprüngliche Gedanke an eine Vertretung der einzelnen mineralischen Stoffe untereinander war Angesichts der Thatsache der ungleichen Aschenzusammensetzung ein wohl berechtigter. Allein nachdem es einmal erwiesen, dass die gewöhnlichen Nährstoffe unentbehrlich waren, musste der Gedanke an eine völlige Vertretbarkeit dieser Nährstoffe als ein unrichtiger angesehen wer-

„wenn sie z. B. in unsern Kellern wachsen, dass sich in ihren Trieben ein wahres Alkali „von grosser Giftigkeit erzeugt u. s. w.“ — Allein dergleichen Sprünge der Phantasie sind in jenen Werken nichts Seltenes.

*) Vergleiche die Analysen 5 und 6 in der Reihe, beide von Tabak von Fünfkirchen und von denselben durchaus zuverlässigen Analytikern (Will und Fresenius) ausgeführt:

	Nr. 5	Nr. 6
Kali	8,20 %	19,55 %
Natron	0 „	0,27 „
Magnesia	13,93 „	11,07 „
Kalk	46,08 „	48,68 „

Die Menge der daneben angegebenen fixen Säuern ist so unbedeutend und so annähernd äquivalent, dass die mitgetheilten Zahlen direkt zu jener Beurtheilung Verwendung finden können. Die Nicht-Aequivalenz der Basen ist in die Augen springend; und der Tabak steht hierin nicht vereinzelt da.

**) Diese Sachlage verhinderte freilich Liebig nicht, jene im Jahr 1840 mit einiger Berechtigung ausgesprochenen Theorien, auch in die neuesten Auflagen neben den ihnen widersprechenden Aschenanalysen aufzunehmen. Es stand ja zu hoffen, dass der geneigte Leser, hingerissen von der Beredsamkeit des grossen Autors, nicht so genau nachforschen würde, und es war diesem Letzteren nicht zuzumuthen, die Resultate der Forschungen seiner kleineren Zeitgenossen, die sich ja ohnedem in ihm dargebrachten Huldigungen einander überboten, auch nur eines Blickes zu würdigen, und darnach die älteren Kapitel seines Werkes zu überarbeiten, oder mindestens einen Commentar zu denselben zu liefern.

Es würde keinen Sinn haben, die gelegentlichen launenhaften Ideen eines Forschers in dieser Weise aus der Vergessenheit zu ziehen und auf ihre Berechtigung zu prüfen, und ich würde selbst ein derartiges Verfahren als die kleinliche Bosheit eines skandalsüchtigen Kritikers verdammen, wenn nicht eben an jene Ideen sich die ganze Substitutionstheorie mit ihren Unklarheiten anknüpfte.

den, und nachdem man erkannt hatte, dass sich auch Aschenbestandtheile, die nicht als Nährstoffe betrachtet werden konnten, in den pflanzlichen Organismen anhäuften, musste, wenn man noch fähig war, einen logischen Schluss zu machen, zugestanden werden, dass man noch kein Mittel besässe, über die Möglichkeit einer theilweisen Substitution zu urtheilen; — dass man dies dennoch versuchte, hat viele Begriffsverwirrung angerichtet, und diese wurde also veranlasst durch den kritiklosen Glauben an jene Autorität, der man in unserer Wissenschaft auf Schritt und Tritt begegnet.

Es liegt nun nicht in meiner Absicht, die Ansichten über Vertretbarkeit der Pflanzennährstoffe, wie sie hie und da ausgesprochen werden, *) weiter auf ihre Berechtigung zu prüfen, resp. in den einzelnen Fällen die Unklarheiten aufzudecken die sich in denselben nachweisen lassen. Das über den in Rede stehenden Gegenstand Gesagte wird einen Jeden befähigen, solchen Ansichten gegenüber mit dem richtigen Urtheil aufzutreten und sich eine Meinung von dem Werthe dahingerichteter Bestrebungen zu bilden. Unsere Aufgabe kann hier lediglich darin bestehen, hervorzuheben, dass alle Versuche über eine völlige Vertretbarkeit der im engern Sinne sogenannten mineralischen Nährstoffe der Pflanze vollständig gescheitert sind, wie dies ja aus dem Satze von der Unentbehrlichkeit dieser Stoffe hervorgeht, und dass für die sogenannten nützlichen Aschenbestandtheile noch vollständig die Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Vertretbarkeit fehlen und wohl noch lange fehlen werden. Könnte ein Nährstoff eine solche Substitution erleiden, so wäre es offenbar nicht mehr möglich, von dessen Unentbehrlichkeit, sondern höchstens noch, von der Unentbehrlichkeit ganzer Stoffgruppen zu sprechen. Es ist also kaum noch nöthig, besonders zu erzählen, dass es bei den Pflanzenkulturversuchen nicht gelungen ist:

Kalium-Verbindungen durch *Natrium-, Rubidium-, Lithium-* oder *Cäsium-Verbindungen,*
Kalcium-Verbindungen durch *Barium-, Strontium-*, etc. *-Verbindungen,*
Magnesium-Verbindungen durch *Lithium-, Kalcium-*, etc. *-Verbindungen,*
Eisen-Verbindungen durch *Mangan-, Nickel-* oder *Kobalt-Verbindungen,*
schwefelsaure Salze durch *selensaure* etc. *Salze,*
phosphorsaure Salze durch *arsensaure* etc. *Salze,*
oder gar *Kohlensäure* durch *Kieselsäure* zu ersetzen.

Und damit kann dieser Gegenstand als erledigt angesehen werden.

Aber noch einige Betrachtungen allgemeinerer Natur knüpfen sich an die Behandlung des Bedürfnisses der Pflanze nach Aschenbestandtheilen an und zwar solche, die später bei den praktischen Folgerungen aus der Ernährungslehre Verwendung finden sollen.

Wir haben eine gewisse Anzahl von Stoffen als unentbehrlich für das Fortkommen der Pflanze bezeichnet. Diese Stoffe werden zwar in sehr verschiedenen Mengen von der Pflanze aufgenommen, sind aber in diesen verschiedenen Mengen in gewissem Sinne als gleichwerthig für die Ernährung anzusehen, d. h. das Fehlen

*) Als ein Beispiel für viele mögen z. B. die unklaren Schlüsse G. Ville's (vergl. Compt. rend. T. 51 p. 437, im Auszug: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1860—61 p. 74) über Substitution hier genannt werden.

oder das Vorhandensein in zu geringer Menge eines jeden einzelnen schädigt das Fortkommen der Pflanze. Ist daher in den die Pflanze in der Natur umgebenden Medien, die darauf angewiesen sind, der Pflanze ihren Bedarf an den einzelnen Nährstoffen zu liefern, irgend ein Stoff in ungenügender Menge vorhanden, so kann dieser Ausfall nicht gedeckt werden durch das Mehr eines anderen Nährstoffs, da keiner dieser Nährstoffe einen andern in seiner Wirkung zu vertreten vermag, und so wird in einem solchen Falle *das Wachsthum* und *die Produktion an Pflanzenmasse regulirt durch den im Verhältniss in ungenügendster Menge vorhandenen Nährstoff*.

Dieser Satz, der Nichts ist als die logische Folgerung aus der Thatsache der Unentbehrlichkeit einzelner Nährstoffe, wurde in einer etwas anderen Form zuerst von Liebig*)**) ausgesprochen, und ist seitdem als sogenanntes Gesetz des Minimums in der Düngerlehre öfters in Anwendung gekommen. Derselbe wird häufig so ausgedrückt: *Der im Minimum vorhandene Nährstoff* (das will sagen: der in Bezug auf diejenigen Mengen der einzelnen Nährstoffe, wie sie zu einer normalen Pflanzenproduktion zusammenwirken, im Minimum vorhandene) *ist massgebend für die gesammte Grösse der Produktion.* Die einseitige Vermehrung irgend eines Düngestoffs kann im Allgemeinen keinen Erfolg haben, sondern nur die Vermehrung der im Minimum vorhandenen, oder wenn vorher schon ein richtiges Verhältniss vorhanden war, nur die gleichzeitige Vermehrung aller.

Es wird nun zweckmässig sein, schon jetzt hervorzuheben, dass jenes sogenannte Gesetz des Minimums sich natürlich nicht auf die mineralischen Nährstoffe und überhaupt nicht auf die Nährstoffe allein beschränken kann, dass es ebenso gelten muss für alle übrigen unentbehrlichen Vegetationsbedingungen, ***) wie aus der eben gemachten Herleitung hervorgeht.

Wir haben früher das Licht als eine unentbehrliche Vegetationsbedingung kennen gelernt und ebenso eine gewisse Temperatur. Es folgt also, dass auch der Reichthum an allen Nährstoffen Nichts zu einem ergiebigeren Wachsthum beitragen kann, wenn das Sonnenlicht im Minimum (nach der eben gegebenen Erläuterung) vorhanden ist, und hieraus werden seiner Zeit wichtige Folgerungen für den Ackerbau gezogen werden. Ebenso folgt natürlich auch, dass aller Reichthum an Sonnenlicht und an Nährstoffen ohne allen Nutzen ist, wenn es an der genügenden Temperatur zum Pflanzenwachsthum fehlt etc. Dies sind alles im Grunde selbstverständliche Sätze, gegen die indessen, wie wir später erkennen werden, gröblich verstossen worden ist.

Wir dürfen dieses Kapitel nicht verlassen, ohne einige Angaben über die Methode zu machen, nach denen zweckmässigerweise Aschenanalysen angestellt

*) Am Deutlichsten erläutert in: Die Chemie etc. 1862. II. p. 133 u. ff.

**) Uebrigens hat Sprengel schon ähnliche Gesichtspunkte aufgestellt. Vergl.: Die Lehre vom Dünger 1839 p. 53.

***) Dieses erweiterte Gesetz des Minimums ist von Liebig vielfach verkannt worden, und dessen Missachtung hat ihn gerade theilweise zu jener absurden Düngerpolitik geführt, von der später kurz gesprochen werden muss. Vergl. übrigens meine Ausführungen in: Das Düngerkapital und der Raubbau 1869. p. 13 u. 14.

werden. Ich kann in dieser Hinsicht Nichts Besseres thun, als mich auf die Mittheilungen berufen, die neuerdings von Bunsen ausgegangen und in den „Annalen der Oenologie" (B. I p. 1) veröffentlicht worden sind. — Ich führe den betreffenden Passus wörtlich hier an, und es ist nicht nöthig, auch nur ein Wort hinzuzusetzen.

Vorbereitendes Verfahren.

„Zur Analyse werden zwischen 7 und 10 Gr. der fein zerriebenen und gut gemischten Asche in einen etwa 300 C.C. fassenden mit eingeschliffenem Glasstopfen versehenen Cylinder gebracht, etwa 20 C.C. Wasser zugegeben und so lange in den über der Flüssigkeit befindlichen Raum Kohlensäure eingeleitet, bis keine Absorption mehr eintritt, die Flüssigkeit also vollständig gesättigt ist. Hierzu ist häufiges Schütteln bei aufgesetztem Stopfen erforderlich. Der gesammte Inhalt des Cylinders wird darauf in eine Porcellanschale gespült. Ist am Glase des Cylinders kohlensaurer Kalk fest ankrystallisirt, so wird derselbe dadurch entfernt, dass man wenig Wasser in den Cylinder bringt, denselben mit Kohlensäure wiederholt füllt und schüttelt, bis völlige Auflösung erfolgt ist: Die Flüssigkeit wird nun ebenfalls in die Schale gebracht. Dann wird die ganze Masse auf dem Wasserbade zur Trockne verdampft, um noch möglichst viel Gyps abzuscheiden und dieser durch ein sehr kleines Filter abfiltrirt, indem man die Flüssigkeit gleich in einen gewogenen Tropfkolben ablaufen lässt. Die Trichterspitze darf hierbei nicht in's Filtrat ragen, auch dürfen keine verspritzten Tropfen an den innern Wänden des Gefässes sein.

Der Chlormetalle, kohlensaure, schwefelsaure, in selteneren Fällen auch phosphorsaure Salze enthaltende lösliche Theil wird in folgender Weise verarbeitet:

Analyse des in Wasser löslichen Theils.

Die im Tropfkolben befindliche, mit dem Waschwasser gehörig gemischte Lösung wird, da beim Stehen der Lösung Ausscheidungen erfolgen können, möglichst bald durch Abwiegen in fünf Portionen getheilt, die zu folgenden Bestimmungen dienen (von dem im Tropfkolben als Reserve bleibendem Reste werden einige Tropfen zu einer Prüfung auf Phosphorsäure benutzt).

1) Chlor-Bestimmung.

In bekannter Weise durch Fällen der kochenden Lösung mit angesäuertem Silber-Nitrat.

2) Schwefelsäure-Bestimmung.

Ansäuern mit Chlorwasserstoffsäure, Kochen und Versetzen mit Chlorbarium.

3) Bestimmung der Alkalien.

Zur Entfernung der Schwefelsäure und Magnesia, ev. Phosphorsäure wird Barytwasser zugegeben, bis kein Niederschlag mehr entsteht, darauf zur Trockne verdampft und mit möglichst wenig Wasser ausgezogen. Nach dem Filtriren wird mit kohlensaurem Ammoniak und Ammoniak gefällt, filtrirt, unter Zusatz von Salzsäure eingedampft und gelinde geglüht. Das Behandeln mit kohlensaurem Ammoniak, Eindampfen und Entfernen des gebildeten Salmiaks durch Erhitzen wird wiederholt, bis aller Baryt entfernt ist. Die Chloralkalien werden

gewogen, nachdem die Temperatur einen Augenblick bis zur Glühhitze gesteigert ist, und das Chlorkalium mittelst Platinchlorid abgeschieden.

4) Bestimmung der Phosphorsäure, resp. des Kalks und der Magnesia.

Wenn durch den qualitativen Versuch erstere gefunden wurde, wird zuerst durch Kochen mit Salzsäure die Kohlensäure ausgetrieben und nach dem Erkalten durch Ammoniak eine kleine Menge phosphorsaure Ammoniak-Magnesia niedergeschlagen, dann die Phosphorsäure durch Fällung mit salmiakhaltigem Chlormagnesium und Ammoniak bestimmt, sonst Abscheiden des Kalks durch oxalsaures Ammoniak und Fällen der Magnesia durch Zusatz von phosphorsaurem Natron und Ammoniak.

5) Bestimmung der Kohlensäure.

Durch Ermittelung des Gewichts-Verlustes, den die Flüssigkeit beim Erwärmen mit Säure in einem geeigneten Apparat *) erleidet.

Analyse des in Wasser unlöslichen Theils.

Der unlösliche Theil sowie die durch das zweite Abdampfen ausgeschiedenen Erdsalze werden von den Filtern losgelöst, sammt den Filter-Aschen (?) bei 100° getrocknet und gewogen. Die Filter werden besonders verascht, und die Asche in einem kleinen Schälchen auf dem Wasserbade nochmals mit kohlensaurem Wasser eingedampft und hierauf mit der Hauptmasse vereinigt. Nach möglichst gleichmässigem Mischen werden hiervon zwei Portionen abgewogen.

I. Portion (höchstens 2 Gr. schwer).

Die Substanz wird mit Salpetersäure übergossen, welche durch Einleiten des bei der Einwirkung von Salpetersäure auf Kupfer entstehenden Gases mit salpetriger Säure gesättigt ist (um die höheren Oxydationsstufen des Mangans in Lösung zu bringen), und auf dem Wasserbade digerirt, bis alle Basen zugleich mit der Phosphorsäure unter Entweichen der Kohlensäure gelöst sind. Zur Abscheidung der Kieselerde wird dann zur Trockne verdampft und diese mit Salpetersäure und heissem Wasser von den auflösbaren Substanzen getrennt.

1) Bestimmung der Phosphorsäure.

Die Abscheidung der Phosphorsäure mit Eisenoxyd ist so wenig vollkommen, dass es geboten scheint, statt der darauf gegründeten Methode: Bestimmung der Basen in einer Portion und der Phosphorsäure mit Hülfe von Molybdänsäure in einer andern, eine *direkte Trennung* durchzuführen. Desshalb wird das Filtrat der Kieselerde mit rauchender Salpetersäure versetzt (bei Ausscheidung von Salzen mit nicht rauchender Salpetersäure bis zur Lösung der etwa ausgeschiedenen Salze), dann 2 bis 3 Gr. Zinn zugegeben und nach Bildung des Zinnoxyds zur Entfernung der salpetrigen Säure bis zum Breiigwerden der Masse (nicht bis zur Trockne) eingedampft. Das Gemenge von phosphorsaurem und überschüssigem Zinnoxyd wird auf einem Filter ausgewaschen, hierauf mit einer Feder von dem Filter genommen, in eine Schale gebracht und in reinem Kali gelöst. Man muss hierbei vorsichtig sein, da bei Ueberschuss

*) Der bekannte Kohlensäure-Apparat.

von Kali eine unlösliche Verbindung niederfällt. Ein wenig Kali wird mehrmals durch das Filter, aus welchem der Niederschlag herausgenommen ist, filtrirt, um Alles in Lösung zu bekommen. Die alkalische Lösung wird in ein grosses gewogenes Becherglas gebracht und hierin mit Schwefelwasserstoff gesättigt. Durch Zusatz von Schwefelsäure wird alles Zinn als zweifach Schwefelzinn gefällt. Nach vollständigem Absitzen wird gewogen, und hierauf die klare, über dem Niederschlag befindliche Flüssigkeit durch ein gewogenes, nicht zuvor mit Wasser befeuchtetes Faltenfilter in einen tarirten Kolben filtrirt und abermals gewogen. Nur dieser Theil dient zur Bestimmung der Phosphorsäure, wird desshalb stark eingedampft und mit salmiakhaltigem Chlormagnesium und Ammoniak gefällt. Hierauf wird das Schwefelzinn auf das gewogene Faltenfilter gebracht, ausgewaschen, getrocknet und gewogen, wobei es nur auf eine ungefähre Wägung ankommt. Das Gewicht desselben wird von dem Gesammtgewicht abgezogen, um das Gewicht der Flüssigkeit und des zur Bestimmung zu verwendenden aliquoten Theils zu finden.

2) Bestimmung von Eisen und Thonerde.

Das Filtrat vom Zinnniederschlag wird mit Schwefelwasserstoff gesättigt, um die Unreinigkeiten*) des Zinns zu entfernen. Die sich hierbei bildenden Schwefelmetalle werden abfiltrirt und ausgewaschen. Das Filtrat wird zur Vertreibung des etwa noch vorhandenen, zu grossen Säure-Ueberschusses eingedampft und unter Kochen mit Ammoniak gefällt. Der Niederschlag von Eisen und Thonerde wird bis zum vollständigen Absitzen unter eine durch Ammoniak abgesperrte Glocke gestellt, damit sich keine kohlensauren Salze ausscheiden, hierauf abfiltrirt und ausgewaschen. Der Niederschlag wird mit einer Feder vom Filter losgelöst, in ein Becherglas gebracht und sammt dem auf dem Filter zurückgebliebenen Rückstand in verdünnter, warmer Salzsäure gelöst; die Lösung wird fast vollkommen mit kohlensaurem Natron neutralisirt, in eine Platinschale gebracht und hierin das Eisen mit Kali gefällt. Das Filtrat wird mit Salzsäure angesäuert und die Thonerde mit Schwefelwasserstoff-Schwefel-Ammonium etc. niedergeschlagen. War viel Mangan vorhanden, so muss das Eisenoxyd von diesem durch nochmalige Fällung mit Ammoniak getrennt werden.

3) Bestimmung von Kalk und Magnesia.

Im Filtrat des durch Ammoniak erhaltenen Niederschlags wird das Mangan durch einige Tropfen Schwefel-Ammonium aus der erhitzten Lösung gefällt, darauf das Filtrat von dem durch Kochen mit Säure niedergeschlagenen Schwefel befreit, und der Kalk nach der Neutralisation mit Ammoniak durch oxalsaures Ammoniak, aus dem Filtrat die Magnesia durch phosphorsaures Natron und Ammoniak gefällt.

II. Portion.

Bestimmung von Kohlensäure, Schwefelsäure und Kieselerde.

In der zweiten Portion wird durch Behandlung mit 17 procentiger Salzsäure die Kohlensäure aus dem Verluste bestimmt, darauf durch Abdampfen die Kiesel-

*) Blei und dergl.

erde unlöslich gemacht und das Filtrat derselben zur Bestimmung der Schwefelsäure verwendet. Mit Hülfe von Kali wird die amorphe Kieselerde vom Quarzsande getrennt und der letztere gewogen, worauf sich der Kieselerdegehalt aus dem Verluste ergibt." *)

Die Art und Weise der Berechnung ist nach den gemachten Angaben selbstverständlich. — Zu erwähnen ist nur, dass man sich in neuerer Zeit in seinen Angaben nicht auf die „Rohasche," d. h. die durch Einäscherung gewonnene Substanz, sondern auf „Reinasche," d. h. auf die Summe derjenigen der einzelnen gefundenen Bestandtheile bezieht, die mit Sicherheit als vor der Einäscherung dem Organismus angehörig angesehen werden können, d. h. also auf Rohasche minus Sand, Kohlensäure, Kohletheilchen **) etc. Es ist dies Verfahren im Grunde nothwendig, da diese letzteren Bestandtheile der Rohasche theilweise fremde, nicht den Organismen angehörige Substanzen, theilweise Reste der organischen Substanz, oder wie die Kohlensäure in ihrer anwesenden Menge rein zufällig (von der Basicität der übrigen Aschenbestandtheile, der Einäscherungstemperatur abhängig) sind.

Zum Schlusse unserer heutigen Betrachtungen theile ich eine Reihe von Zahlen über den Gehalt namentlich unserer Kulturgewächse (oder deren Theile) an Aschenbestandtheilen und die Zusammensetzung dieser Asche mit. Wir verdanken diese mühevollen Zusammensetzungen und Berechnungen fast ganz und gar E. Wolff ***).

In 1000 Theilen frischer Pflanzensubstanz sind enthalten:

I. Grünfutter.	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Gesammt-Asche
Junges Gras	0,8	2,2	2,1	—	11,6	0,4	2,2	0,6	20,7
Wiesengras (Blüthe)	1,2	1,5	6,9	0,6	6,0	1,6	2,7	1,1	23,3
Rothklee	0,4	1,3	0.4	0,5	4,6	0.2	4,6	1,6	13,4
Weissklee	1,2	2,0	0,6	0,6	2,4	1,1	4,4	1,4	13,6
Bastardklee	0,4	1,0	0,1	—	3,5	0,2	3,2	1,6	10,2
Wundklee	0,2	0,9	0,4	—	1,3	0,5	8,5	0,6	12.3
Lucerne	1,1	1,5	0,4	0,3	4,5	0,2	8,5	1,6	17,6
Esparsette	0,4	1,2	0,5	0,3	4,6	0,2	3,7	0,7	11,6
Futter-Wicken	0,6	2,0	0,3	0,5	6,6	0,5	4,1	1,1	15,7
Futter-Erbsen	0,5	1,8	0,4	0,2	5,6	—	0,9	1,1	13,7
Futter-Hafer	0,2	2,4	5,2	0,8	7,1	0,8	1,2	0,6	17,0
Futter-Roggen	0,2	2,4	5,2	—	6,3	0,1	1,2	0,5	16,3
Buchweizen	0,5	1,1	0,4	0,1	4,3	0,2	6,6	3,7	17,6
Grünraps	2,2	1,2	0,4	1,0	4,4	0,5	3,1	0,6	13,5
Grünmais	0,3	0,7	0,1	0,4	2,8	0,2	1,2	1,1	8,2

*) In Bezug auf andere Methoden der Aschenanalyse vergl. Fresenius: Quantit. Analyse.

**) Die sogleich folgenden Zahlenangaben sind allesammt die Ergebnisse solcher Umrechnungen, also Angaben der Reinasche.

***) Theilweise sind die Zahlen auch Moser's Lehrbuch der Chemie etc. 1870 entnommen.

II. Körner und Samen.	Schwefel-säure	Phosphor-säure	Kiesel-säure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Mag-nesia	Gesammt-Asche
Weizen	0,4	8,2	0,3	—	5,5	0,6	0,6	2,2	17,1
Roggen	0,4	8,2	0,3	—	5,4	0,3	0,5	1,9	17,3
Gerste	0,5	7,2	5,9	—	4,8	0,6	0,5	1,8	21,8
Hafer	0,4	5,5	12,3	—	4,2	1,0	1,0	1,8	26,4
Dinkel (mit Spelzen)	0,6	7,2	15,8	—	6,2	0,6	0,9	2,1	35,8
Mais	0,1	5,5	0,3	0,6	3,3	0,2	0,3	1,8	12,3
Hirse	0,1	9,1	20,5	—	4,7	0,4	0,4	3,3	39,1
Sorgho	—	8,1	1,2	—	4,2	0,5	0,2	2,4	16,0
Buchweizen	0,2	4,4	—	—	2,1	0,6	0,3	1,2	9,2
Reis (ungeschält)	0,4	32,6	0,4	—	12,7	3,1	3,5	5,9	69
Reis (geschält)	—	1,7	0,1	—	0,8	0,2	0,1	0,5	3,4
Raps	1,3	16,4	0,4	0,1	8,8	0,4	5,2	4,6	37,3
Lein	0,4	13,0	0,4	—	10,4	0,6	2,7	4,2	32,2
Hanf	0,1	17,5	5,7	0,1	9,7	0,4	11,3	2,7	48,1
Mohn	1,0	16,4	1,7	2,3	7,1	0,5	18,5	5,0	51,2
Futterrunkel	2,0	7,6	1,0	—	9,1	8,4	7,6	9,2	48,7
Zuckerrübe	2,0	7,5	0,8	—	11,1	—	10,4	7,3	45,3
Weissrübe	2,5	14,1	0,2	—	7,7	0,3	6,1	3,0	35,0
Möhre	4,2	11,8	4,0	2,5	14,3	3,6	29,0	5,0	74,8
Erbsen	0,8	8,8	0,2	0,6	9,8	0,9	1,2	1,8	24,2
Wicken	0,9	7,9	0,4	0,2	6,3	2,2	0.6	1,9	20,7
Saubohnen	1,5	11,6	0,4	0,8	12,0	0,4	1,5	2,0	29,6
Linsen	—	5,2	0,2	0,6	7,7	1,8	0,9	0,4	17,8
Lupinne	2,3	8,7	0,3	0,6	11,4	6,0	2,7	2,1	34,0
Klee	1,7	12,4	0,9	0,5	13,8	0,2	2,3	4,5	36,9
Esparsette	1,2	9,0	0,3	0,4	10,8	1,1	11,9	2,5	37,6
Senf	1,3	14,7	0,9	0,2	6,0	2,2	7,1	3,9	38
Eichel	0,2	1,6	—	0,8	6,2	0,1	0,7	0,5	10
Ross-Kastanien	0,2	2,7	—	0,8	7,1	—	1,4	0,1	12
Bucheln	0,6	5,6	0,5	0,1	6,2	2,7	6,7	3,1	27
Erlensamen	1,5	5,7	1,4	—	16,6	0,7	13,6	3,5	44
Traubenkerne	0,6	5,9	0,3	0,1	7,1	—	8,4	2,1	25

III. Früchte.

III. Früchte.	Schwefel-säure	Phosphor-säure	Kiesel-säure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Mag-nesia	Gesammt-Asche
Aepfel	0,3	0,6	0,1	—	1,4	0,9	0,1	0,3	3,4
Birnen	0,2	0,5	0,1	—	1,6	0,3	0,3	0,2	3,4
Kirschen	0,3	1,1	0,6	0,2	3,5	0,2	0,5	0,3	6,8
Pflaumen	0,3	0,8	0,1	—	3,1	—	0,5	0,3	5,2
Stachelbeeren	0,2	0,7	0,1	—	1,5	0,4	0,5	0,2	3,8
Erdbeeren	0,2	0,8	0,7	—	1,3	1,6	0,8	—	6,0

IV. Wurzeln und Knollen.	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Gesammt-Asche
* Kartoffel	0,6	1,8*	0,2	0,3	5,6	0,1	0,2	0,4	9,4
Topinambur	0,3	1,6	—	0,2	6,7	—	0,4	0,3	10,3
Futterrunkel	0,3	0,8	0,2	0,5	4,3	1,2	0,4	0,4	8,0
Zuckerrübe	0,4	1,1	0,3	0,2	4,0	0,8	0,5	0,7	8,0
Turnipsrübe	1,1	1,0	0,2	0,3	3,0	0,8	0,8	0,3	7,5
Weissrübe	0,4	1,1	0,1	0,4	3,1	0,2	0,8	0,1	6,1
Erdkohlrabi	0,8	1,4	0,1	—	4,9	0,6	0,9	0,2	9,5
Möhre	0,6	1,1	0,2	0,3	3,2	1,9	0,9	0,5	8,8
Cichorien	1,0	1,5	0,8	0,4	4,2	0,8	0,9	0,7	10,4
V. Blätter der Wurzelgewächse.									
Kartoffel (Ende Aug.)	0,9	1,0	1,2	0,7	2,3	0,4	5,1	2,6	15,6
„ (Ende Oct.)	0,6	0,6	0,5	0,4	0,7	0,1	5,5	2,7	11,8
Futterrunkel	1,1	0,8	0,7	1,7	4,3	3,1	1,7	1,4	14,8
Zuckerrübe	1,4	1,3	0,6	1,0	4,0	3,0	3,6	3,3	18,0
Kohlrabi	3,0	2,6	2,6	1,0	3,6	1,1	8,4	1,0	25,3
Turnips	1,4	1,3	0,5	1,2	3,2	1,0	4,5	0,6	14,0
Möhre	1,5	2,1	1,9	1,9	3,7	6,0	8,6	1,2	26,1
Weisskraut	1,1	2,0	0,1	0,3	6,0	0,5	1,9	0,4	12,4
VI. Verschiedene Handelsgewächse.									
Ganze Leinpflanze	1,6	7,4	0,8	1,9	11,3	1,5	5,0	2,9	32,3
Ganze Hanfpflanze	0,8	3,3	2,1	0,7	5,2	0,9	12,2	2,7	28,2
Hopfenpflanze	3,8	9,0	15,9	3,4	19,4	2,8	11,8	4,3	74,0
Hopfenzapfen	1,6	9,0	9,2	0,2	22,3	1,3	10,1	2,1	59,8
Tabak	7,7	7,1	19,0	8,8	54,1	7,3	73,1	20,7	197,5
Krapp	1,7	3,0	2,1	5,4	17,1	8,7	19,5	2,3	60
VII. Streumaterial.									
Haidekraut	1,6	1,8	12,7	0,8	4,8	1,9	6,8	3,0	36,1
Farrenkraut	3,0	5,7	3,6	6,0	25,2	2,7	8,3	4,5	58,9
Besenpfriemen	0,7	1,6	1,9	0,5	6,9	0,5	3,2	2,8	18,9
Schachtelhalm	12,9	4,1	110,0	11,7	27,0	1,0	25,6	4,7	204,4
Seegras	28,3	3,7	2,0	11,9	17,1	28,3	16,4	11,2	118,0
Rohrschilf	1,1	0,8	27,5	—	3,3	0,1	2,3	0,5	38,5
Riedgräser	2,3	4,7	21,8	3,9	23,1	5,1	3,7	2,9	69,5
Binsen	4,0	2,9	5,0	6,5	16,7	3,0	4,3	2,9	45,6
Simsen	4,2	4,8	32,2	3,9	7,2	7,7	5,4	2,2	74,4

VIII. Stroh.	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Gesammt-Asche
Winterweizen	1,2	2,3	28,2	—	4,9	1,2	4,6	1,1	42,6
Winterroggen	0,8	1,9	23,7	—	7,6	1,3	3,1	1,3	40,7
Winterdinkel	0,9	3,0	34,1	—	5,3	0,2	2,3	0,4	47,7
Sommerroggen	1,2	3,1	26,6	—	11,1	—	4,4	1,3	47,6
Gerste	1,6	1,9	23,6	—	9,3	2,0	3,3	1,1	43,9
Hafer	1,5	1,8	21,2	—	9,7	2,3	3,6	1,8	44,0
Mais	2,5	3,8	17,9	—	16,6	0,5	5,0	2,6	47,2
Erbsen	2,8	3,8	2,8	—	10,7	2,6	18,6	3,8	49,2
Saubohnen	0,1	4,1	3,1	8,1	25,9	2,2	13,5	4,6	58,2
Buchweizen	2,7	6,1	2,8	4,0	24,1	1,1	9,5	1,9	51,7
Raps	2,7	2,7	2,6	4,7	9,7	3,9	10,1	2,1	38,0
Mohn	3,4	2,3	7,5	1,7	25,1	0,9	19,9	4,3	66,0
Gartenbohnen	1,8	4,1	2,4	2,7	19,1	3,1	14,1	2,7	51

IX. Baumblätter.	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Gesammt-Asche
Buche	0,7	0,8	6,8	0,7	1,0	0,1	9,0	1,2	20
„ (Herbst)	2,1	2,4	19,5	—	3,0	0,3	25,8	3,4	57,4
Maulbeerbaum	0,1	1,2	4,1	—	2,3	—	0,3	0,6	11,7
Rosskastanie (Frühling)	1,3	5,0	0,6	0,8	8,3	—	4,6	0,8	21
„ (Herbst)	0,5	2,5	4,2	1,2	5,9	—	12,2	2,4	30
Nussbaum (Frühling)	0,6	4,9	0,3	0,1	9,9	—	6,2	1,1	23
„ (Herbst)	0,8	1,1	0,6	0,2	7,6	—	15,3	2,8	28
Olive	0,8	0,9	0,9	—	6,4	—	14,6	1,3	26
Kiefernadeln (Herbst)	0,3	1,3	0,8	0,3	0,6	—	2,6	0,6	6,3
Fichtennadeln (Herbst)	0,7	2,1	18,4	—	0,4	—	6,4	0,6	26,2

X. Hölzer.		Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Gesammt-Asche
	Apfelbaum	0,3	0,5	6,2	—	1,3	0,2	7,8	0,6	11
	Waldkirsche	0,1	0,2	—	—	0,5	0,2	0,6	0,2	2,4
Lufttrocken	Sauerkirsche	0,2	0,9	1,0	1,3	0,6		3,7	1,0	14
	Nussbaum	0,8	3,1	0,7	0,1	3,9	—	14,2	2,0	25
	Rosskastanie	—	5,9	0,2	0,4	5,5	—	14,3	1,5	28
	Olivenbaum	0,1	0,3	0,2	—	1,0	—	3,1	0,1	5
	Maulbeerbaum	1,4	0,3	0,5	0,6	0,9	2,0	7,8	0,8	14
	Buche	0,1	0,3	0,3	—	0,9	0,2	3,1	0,6	5
	Eiche	0,1	0,3	0,1	—	0,5	0,2	3,7	0,2	5
	Birke	—	0,2	0,1	—	0,3	0,2	1,5	0,2	2,6
	Weisstanne	0,1	0,1	0,2	—	0,4	0,2	1,2	0,1	2,4
	Fichte	0,1	0,1	0,1	—	0,1	0,6	1,0	0,1	2,1
	Kiefer	0,1	0,2	0,4	—	0,3	0,1	1,3	0,2	2,6
	Lärche	0,1	0,1	0,1	—	0,4	0,2	0,7	0,7	2,7

XI. Rinden.	Schwefel-säure	Phosphor-säure	Kiesel-säure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Gesammt-Asche
Waldkirsche	0,7	2,8	17,6	—	6,5	12,8	37,0	4,4	88
Sauerkirsche	—	0,2	0,8	—	6,4	—	46,7	3,2	95
Nussbaum	0,6	3,2	0,6	0,2	6,3	—	38,1	5,8	54,4
Rosskastanie	0,1	3,9	0,4	0,5	13,5	—	34,3	2,2	55,9
Birke	0,2	0,8	2,3	0,2	0,4	0,6	5,2	0,9	11,3
Weisstanne	0,5	0,7	2,3	0,3	2,3	0,9	19,6	0,8	28,1
Fichte	0,2	0,6	3,8	0,1	1,3	1,0	14,9	1,1	23,9
Kiefer	0,1	1,4	5,3	—	0,5	0,2	7,5	0,2	17,1

Die wichtigsten in den letzten vier Vorlesungen erkannten Thatsachen können ungefähr durch folgende Sätze ausgedrückt werden:

1) Alle Pflanzen enthalten ausser Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff noch andere Elemente, deren Anwesenheit sich ergibt durch die Einäscherung der Pflanze.
2) Es ist nicht möglich ohne Anwesenheit solcher anderer, nicht flüchtiger Elemente die Pflanze gedeihlich fortzubringen. — Aschenbestandtheile sind für die Pflanze unentbehrlich.
3) Verschiedene Pflanzen und Pflanzentheile haben qualitativ und quantitativ verschiedene Aschenbestandtheile zu ihrem Gedeihen nothwendig.
4) Der Bedarf an einzelnen Aschenbestandtheilen richtet sich, wie wir vermuthen müssen, und so weit wir sehen können, nach den physiologischen Funktionen, die in der Pflanze vollzogen werden.
5) Die unter allen Umständen unentbehrlichen Aschenbestandtheile der höhern chlorophyllhaltigen Pflanzen sind: Phosphor, Schwefel, Kalium, Kalcium, Magnesium, Eisen.
6) Für manche dieser Pflanzen scheinen noch andere Aschenbestandtheile unentbehrlich, für viele noch andere nützlich zu sein.
7) Einige bei der Vegetation unter natürlichen Verhältnissen regelmässig in den Pflanzen sich vorfindende Aschenbestandtheile sind als zufällige Bestandtheile derselben anzusehen.
8) Alle Aschenbestandtheile werden von den Gewächsen nur in hochoxydirter Form als neutrale oder schwach saure Salze aufgenommen.
9) Eine Substitution einzelner unentbehrlicher Aschenbestandtheile unter einander ist im engern Sinne eine contradictio in adjecto, im weiteren Sinne oder für entbehrliche Aschenbestandtheile unerwiesen.
10) Die Bedeutung aller unentbehrlichen Aschenbestandtheile ist für die Pflanzen dieselbe, so dass die Vegetation bei Ueberfluss aller übrigen Bedingungen durch den im Verhältniss zu seinem Wirkungsäquivalent in geringster Menge vorhandenen regulirt wird.

Vierter Abschnitt.

Die Gesetze der Stoffaufnahme.

Achtzehnte Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Theorie der Membrandiffusion.

Wir sind in dem Lauf der hinter uns liegenden Vorlesungen zur Kenntniss aller der Grundstoffe gelangt, aus denen der Pflanzenleib sich aufbaut und haben zugleich gesehen, in welchen chemischen Verbindungen die Assimilation dieser einzelnen Stoffe erfolgt. Wir gehen heute zu einem andern neuen Gegenstand über, zur Betrachtung des Akts der Aufnahme dieser Verbindungen in die Pflanze. Auch das Studium dieser Vorgänge wird nöthig sein, um uns einen Begriff zu bilden von der Abhängigkeit der Pflanze in ihrer Ernährung von den sie in der Natur umgebenden Medien, und von diesem Begriffe wiederum ist es offenbar abhängig, ob aus der theoretischen Behandlung der Pflanzennährung für die landwirthschaftliche Praxis des Pflanzenbaus Nutzen gezogen werden kann oder nicht.

An die Spitze dieser neuen Betrachtungen kann der Grundsatz gestellt werden, der in der Chemie des Mittelalters eine grosse Rolle spielte: *Corpora non agunt nisi fluida;* d. i.: Nur Körper in flüssigem Zustand machen chemische Wirkungen geltend. — Für die Aufnahme der Pflanzennährstoffe gilt genau dasselbe; auch hier lässt sich aussprechen, *nur in flüssiger Form können neue Stoffe von der Pflanze aufgenommen und assimilirt werden.* Dieser Satz erleidet in der That keinerlei Einschränkung auf dem ganzen Gebiete der Stoffaufnahme durch das ganze weite Reich der Organismenwelt.

Das behauptete Verhalten findet nun (zunächst für die höhern Pflanzen, mit denen wir uns ja allein eingehender beschäftigen) seine Erklärung, wenn hinzugesetzt wird, dass — wie aus einem einfachen Ueberblick über die anatomischen Verhältnisse mit vollkommener Deutlichkeit hervorgeht — alle die Räume in der Pflanze, in denen wirkliche physiologische Processe vollzogen werden, von der Aussenwelt durch eine Membran oder eine Reihe von Membranen getrennt sind. *) Es ist einfach dieses Verhältnisses halber für jeden Stoff, der Einlass in jenes Innere der Pflanze begehrt, wo er allein Antheil an den wirklichen Lebensvorgängen zu nehmen

*) Die Binnenräume in der Pflanze, die nach Aussen hin nicht durch Membranen verschlossen sind, sondern mit der Umgebung communiciren, wie Athemhöle, Intercellularräume sind niemals der Sitz von Erscheinungen, die sich nicht an einem beliebigen andern unorganisirten Orte wiederholen liessen, sondern nur von solchen, die (nach der alten Ausdrucksweise) nicht unter dem Einflusse der Lebenskraft stehen. Diese Räume verhalten sich ziemlich analog den ebenfalls nach Aussen communicirenden Binnenräumen bei den höheren Thieren, dem Verdauungscanal etc., in denen sich auch chemisch leicht verständliche Processe vollziehen.

im Stande ist, eine *unumgängliche Nothwendigkeit, den flüssigen Zustand anzunehmen*, sei es nun den tropfbar oder elastisch flüssigen Zustand. Da nun kein Stoff als Nährstoff wirken kann, ohne an jenen Lebensprocessen Theil zu nehmen, so ist die Nothwendigkeit für einen jeden Nährstoff ersichtlich, die flüssige Form*) anzunehmen, will er anders wirklich zur Ernährung dienen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass wir, um uns eine Vorstellung von den Bedingungen der Stoffaufnahme zu bilden, die Gesetze des Durchgangs von Flüssigkeiten verschiedener Art durch Membranen, namentlich pflanzliche Membranen zu studiren haben werden. Sehen wir uns jedoch vorher die Verhältnisse, wie sie in der Pflanze liegen, noch etwas näher an, um einen Anhaltspunkt in Bezug darauf zu besitzen, welcher Art des Durchgangs durch Membranen wir besonders unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden haben.

Alle physiologisch chemischen Processe in der Pflanze (an denen die eintretenden Nährstoffe sich betheiligen) *wickeln sich ab in dem flüssigen Inhalt des Elementarorgans, der vegetabilischen Zelle.* Soll ein neuer Stoff in eine solche von einer Membran umschlossene Flüssigkeitsmasse eintreten, so sind nur zwei Fälle möglich; entweder gränzt die Membran nach Aussen hin an ein gasförmiges, oder sie gränzt an ein Medium von tropfbar flüssiger Form. — Dies sind die beiden Fälle, welche bei der Betrachtung des Durchgangs flüssiger Körper durch Membranen in der Pflanze wesentlich in Betracht kommen und welche wir beim Studium jener merkwürdigen Erscheinungen besonders in's Auge zu fassen haben.

Soll eine Flüssigkeit irgend welcher Art durch eine poröse Scheidewand oder eine Membran**), d. h. durch einen eingeschalteten festen Körper von verhältnissmässig dünnem Querschnitt, der Poren besitzt, die jedenfalls zu klein sind, um eine tropfbare Flüssigkeit einfach filtriren***) zu lassen, hindurchgehen, so muss in allen Fällen ein bewegendes Moment vorhanden sein. Ein solches bewegendes Moment kann bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke nur bestehen in einer *Ungleichheit der chemischen Mischung* diesseits und jenseits der Membran. Diese letztere kann unmöglich den Anstoss zur erfolgenden Bewegung geben, und eine solche würde auch ohne Einschaltung einer Membran stattfinden, wenn auch durch eine solche Einschaltung die Art der Bewegung in allen Fällen verändert wird. Es ist desshalb für ein aufmerksames Studium der Erscheinungen des Durchgangs von Flüssigkeiten durch Membranen unerlässlich, die Bewegung, die in jedem einzelnen Falle ohne Einschaltung einer Membran stattfinden würde, zuerst in's Auge zu fassen, um so den Unterschied zu constatiren, der durch jene Einschaltung bewirkt wird.

Wir werden uns also die Frage zu stellen haben: *Was tritt in zwei neben einander sich befindenden Flüssigkeiten ein, die durch keine Membran getrennt sind, wenn sie chemisch verschieden sind?*

*) Damit ist nicht gesagt, dass ein jeder Nährstoff schon in flüssiger Form der Pflanze dargeboten werden muss. Wir werden später Verhältnisse kennen lernen, unter denen die Pflanze an der Verflüssigung der zu assimilirenden Stoffe thätigen Antheil nimmt.

**) Die präcisere Erläuterung der Eigenschaften einer Membran folgt später 298.

***) Unter Filtriren einer tropfbaren Flüssigkeit durch einen porösen festen Körper ist zu verstehen, das Hindurchgehen derselben in unveränderter Mischung unter einem einseitigen hydrostatischen Drucke.

Suchen wir diese Frage zunächst für zwei *Gase* zu beantworten. — Der Gaszustand ist (nach der mechanischen Wärmetheorie, einer Theorie, mit der alle in's Spiel kommenden Thatsachen in vollkommenem Einklang sich befinden) der Zustand, wo die einzelnen Molekule des gasigen Körpers so weit von einander entfernt sind und so grosse Bewegungen ausführen, dass die Bahn, die sie beschreiben, nicht unter dem Einfluss der Anziehung der übrigen Molekule steht. Daraus folgt, dass die Molekule eines elastisch flüssigen Körpers Bewegungen ausführen, die durch Nichts*) in Schranken gehalten werden können, als durch den Widerstand, den feste und tropfbar flüssige Körper, bei welchen Molekularanziehungen zur Geltung kommen, ihnen entgegensetzen. — Wir drücken dieses Verhalten gewöhnlich so aus, dass wir sagen: Die Gase erfüllen jeden ihnen zur Verfügung gestellten Raum gleichmässig und sind vollständig mit einander mischbar.

Daraus folgt nun das Verhalten, das zwei nebeneinander befindliche Gase, die durch keine Wand von einander getrennt sind, sich gegenüber beobachten. Ist zwischen zwei solchen Gasen eine chemische Differenz vorhanden, so sind nach den eben für den elastisch flüssigen Zustand gegebenen Erörterungen die Molekule des einen Gases keine Schranken für die Bewegungen der Molekule des andern. — Nach einiger Zeit tritt vollkommene Mischung beider Gase ein.

Ist zwischen zwei solchen von keiner Scheidewand getrennten Gasen eine Druckdifferenz vorhanden, so wird bei den schrankenlosen Bewegungen der Gasmolekule innerhalb des gemeinschaftlich gewährten Raumes ebenso ein vollkommener Ausgleich erfolgen müssen. Das unter einem höheren Drucke befindliche Gas enthält auf gleiche Raumtheile (nach den Verhältnissen, wie sie das Mariotte'sche Gesetz angibt) mehr Molekule, als das unter einem geringeren Drucke befindliche; es wird also bei der Bewegung der einzelnen Molekule in allen denkbaren Richtungen in derselben Zeit mehr Molekule nach dem von dem verdünnteren Gase angefüllten Raumtheile senden, als dieses umgekehrt zurücksenden wird; und dieses Verhältniss wird nothwendig so lange dauern müssen, bis die Anzahl der Molekule in jedem Raumtheil die gleiche ist, oder, wie wir uns gewöhnlich ausdrücken, die Druckdifferenz sich völlig ausgeglichen hat**).

Um nun die Abänderung zu verstehen, die in diesem gegenseitigen Verhalten zweier Gase durch Einschaltung einer nicht absolut undurchdringlichen Scheidewand bewirkt wird, müssen wir noch etwas weiter ausholen und von den *Geschwindigkeiten* reden, die den Molekulen chemisch differenter, verschieden warmer etc. Gase eigenthümlich sind.

Nach der Theorie der Gase (welche einen Theil bildet der sog. mechanischen Wärmetheorie) besteht die *Gleichheit der Temperatur* zweier Gase *in der Gleichheit der lebendigen Kräfte der in der Volumeinheit enthaltenen Molekule.* In

*) Wenn wir von der Gravitation absehen, die allerdings auch der Zerstreuung der vergasten Molekule in's Unendliche eine gewisse Grenze setzt, aber für unsere Betrachtungen ausser Acht gelassen werden kann.

**) In Wahrheit freilich geschieht der Ausgleich des Drucks nicht durch Molekular- sondern durch Massenbewegung, wie schon aus der verhältnissmässigen Raschheit dieses Ausgleichs hervorgeht.

der Volumeinheit eines Gases sind aber bei gleicher Temperatur und gleichem Druck nach derselben Theorie *gleichviel Molekule* enthalten, so dass bekanntlich das Verhältniss der spezifischen Gewichte bei vollkommenen Gasen zugleich das Verhältniss ihrer Molekulargewichte ausdrückt. Daraus folgt nun aber*), dass jedes *Molekul* eines Gases, gleichviel von welcher chemischen Natur, bei gleicher Temperatur eine und dieselbe lebendige Kraft besitzt. Da indessen diese Molekule je nach ihrer chemischen Zusammensetzung sehr *verschieden schwer* sind, also das gleiche Volum ungleicher Gase bei derselben Temperatur und demselben Drucke *verschiedene Massen* einschliesst, und da die lebendige Kraft irgend eines bewegten Körpers unter allen Umständen gemessen werden kann durch dessen Masse und das Quadrat seiner Geschwindigkeit, so geht aus der Gleichheit der lebendigen Kräfte zweier Gasmolekule

$$mc^2 = MC^2,$$

wo m, M die Massen der Molekule verschiedener Gase, c, C die mittlere Geschwindigkeit dieser Molekule bezeichnen, hervor, dass

$$c = C\sqrt{\frac{M}{m}}$$

d. h. dass die Geschwindigkeit irgend eines Gasmolekuls gleichgesetzt werden kann der Geschwindigkeit irgend eines Molekuls eines beliebigen andern Gases, multiplicirt mit der Quadratwurzel des Verhältnisses ihrer Massen d. h. also der spezifischen Gewichte beider Gase. **)

Dieser wichtige Satz lässt sich noch einfacher so ausdrücken: *Die Molekulargeschwindigkeiten vollkommener Gase von gleicher Temperatur verhalten sich umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer spezifischen Gewichte oder ihrer Molekulargewichte.*

Um ein Beispiel dieses Verhaltens zu geben, wollen wir die Molekulargeschwindigkeiten zweier bekanntester Gase betrachten. Der eben mitgetheilte Satz sagt aus, dass diese Geschwindigkeiten sich verhalten müssen umgekehrt proportional wie die Quadrate der spezifischen oder der Molekular-Gewichte der betreffenden Gase. Das Molekulargewicht des Wasserstoffs gleich 1 gesetzt, ist das des Sauerstoffs gleich 16. Es folgt also, dass die Geschwindigkeit des Sauerstoffmolekuls $\sqrt{16} = 4$ mal so klein sein muss, als die des Wasserstoffmolekuls (die Gleichheit der Temperaturen immer vorausgesetzt). Die Berechnung ***) ergibt für die Molekulargeschwindigkeiten bei 0° für eine Sekunde

beim Sauerstoff = 461 Meter,
„ Wasserstoff = 1844 „

woraus also das Gesagte noch verständlicher werden wird.

Direkte experimentelle Bestimmungen der relativen Molekulargeschwindigkeiten

*) Eigentlich ist die Folgerung umgekehrt.

**) Streng eigentlich zunächst ihrer Dichten; wir können indessen für die Dichte sogleich ihre spezifischen Gewichte einführen, da die Beschleunigung durch die Schwere keinen Unterschied bewirkt.

***) Vergl. Naumann: Thermochemie p. 34—35.

der Gase, die z. B. so ausgeführt werden können, dass man durch poröse Körper eigenthümlicher Beschaffenheit Gase von verschiedenen spezifischen Gewichten unter Druck überströmen lässt, ergeben fast genau die gleichen Verhältnisszahlen. Von den Substanzen, welche zu diesen Versuchen verwendet werden können, werden wir gleich nachher zu sprechen haben.

Die Temperatur, welche die lebendigen Kräfte der Gase erhöht, vergrössert natürlich, da sie die Massen nicht zu vermehren im Stande ist, die Molekulargeschwindigkeiten.

Ohne den eben hergeleiteten Satz von der Abhängigkeit der Molekulargeschwindigkeiten von dem spezifischen Gewichte der Gase zu kennen, lassen sich nicht wohl die Vorgänge beim Durchgang der Gase durch poröse Scheidewände im Zusammenhange begreifen.

Wir kehren wieder zur Betrachtung der Vermischung chemisch verschiedener Gase zurück, denken uns nun aber zwischen die beiden Gase eine Scheidewand eingeschaltet. Diese Scheidewand soll ein trockner poröser Körper sein, dessen Substanz keine spezifischen Anziehungskräfte gegen die in's Spiel kommenden Gasarten geltend macht. Die Poren sollen so fein sein, dass nur Molekul für Molekul seinen Durchgang findet, grössere Gasmassen durch einen der feinen Kanäle niemals gleichzeitig passiren können. — Was wird vor sich gehen? — Die Molekule der beiden Gase werden von beiden Seiten mit den ihnen eigenthümlichen Geschwindigkeiten in die Poren eintreten, die Molekule des leichtern Gases also mit grösserer Geschwindigkeit, wie die des schwereren (wenn auch mit derselben lebendigen Kraft) und werden auch mit grösserer Geschwindigkeit in den Raum jenseits der Scheidewand eindringen, als die Molekule des schwereren Gases das Gleiche in umgekehrter Richtung zu leisten befähigt sind, so dass für die aus dem Raum, den zu Anfang des Vorgangs das leichtere Gas allein erfüllte, entweichenden Molekule nur ein ungenügender Ersatz eintritt.

Man sieht, was der Erfolg sein muss. Auf der Seite der Membran, wo, bevor der Diffusionsvorgang begann, das schwerere Gas sich befand, wird eine Anhäufung von Molekulen, eine *Verdichtung der Gasmassen, eine Druckvermehrung,* auf der entgegengesetzten Seite eine *Druckverminderung* die unausbleibliche Folge sein. — Allein um zu sehen, ob eine solche Druckdifferenz, die eigentlich ja auch im ersten Augenblicke bei der freien Vermischung verschiedener Gase eintreten müsste, sich bis zu einem merklichen Werthe anhäufen kann, haben wir das Verhalten zweier Gase, die durch eine poröse Scheidewand von der angegebenen Beschaffenheit von einander getrennt sind und verschiedenen Drucken ausgesetzt sind, gleichfalls in's Auge zu fassen.

Es war eine Annahme, deren Nothwendigkeit sehr bald eingesehen werden wird, dass die Poren der Scheidewand so eng sein sollten, dass nur einzelne Molekule, nicht Gasmassen durch sie hindurchzutreten im Stande wären. Halten wir an dieser Annahme fest und überlegen, in welcher Weise eine solche Scheidewand sich einem ungleichartigen Drucke eines und desselben Gases auf beiden Seiten gegenüber verhalten wird. Wir müssen vor Allem uns daran erinnern, dass in einem Gase durch Erhöhung des Drucks die Molekulargeschwindigkeiten desselben ganz und gar nicht gesteigert werden, sondern dass dabei lediglich dadurch die lebendige Kraft

der Molekularbewegung für die Volumeinheit vermehrt wird, dass die Anzahl der mit der vormaligen Geschwindigkeit sich bewegenden Molekule für die Einheit des Raums eine grössere wird. Wären nun allerdings die Kanäle, durch welche die beiden verschieden dichten aber chemisch gleichen Gase mit einander communiciren, von grosser Weite z. B. Kapillaren von sichtbarem Lumen, so würden durch diese Kanäle hindurch Massenbewegungen der Gase eintreten, und der Ausgleich der Druckdifferenz würde bald erfolgen.

Allein wir haben es in der Scheidewand mit Poren von solcher Enge zu thun, dass nur einzelne Molekule hindurchpassiren können, und nun können wir uns leicht von dem Vorgang, der eintreten muss, eine Vorstellung bilden. — In einem Gase, welches unter einem höheren Drucke steht, ist die Wahrscheinlichkeit, dass Molekule auf die engen Kanäle treffen, grösser als in einem, das unter einem niedrigeren Drucke sich befindet, und zwar proportional der grösseren Anzahl der in jenem enthaltenen Molekule. — *Der Uebertritt von Gasen durch poröse Scheidewände ist* also bei Gleichheit der übrigen Bedingungen *proportional den auf sie lastenden Drucken.*

Dieser Satz, der eine sehr vollkommene experimentelle Bestätigung erfahren hat, ist nun für uns in sofern von Interesse, als dadurch die Diffusionserscheinungen in Folge von chemischer Differenz der zu beiden Seiten der Scheidewand befindlichen Gase wesentlich modificirt werden. Wir hatten gerade eben gesehen, dass diese Erscheinungen Druckdifferenzen hervorzurufen im Stande sind, und da naturgemäss gerade auf jener Seite der porösen Wand ein erhöhter Druck eintreten muss, wo sich ursprünglich das weniger diffusible Gas befand, so ist klar ersichtlich, dass jener Druck gerade die entgegengesetzte Diffusionsrichtung veranlassen muss d. h. dass die Druckdifferenz sich nur bis auf eine gewisse Grösse erheben kann, dann aber wieder abnehmen muss. — Dies hervorzuheben ist nicht ganz unnütz, da wir nachher bei den tropfbaren Flüssigkeiten, trotz der sonstigen Analogie, Abweichungen von diesem Verhalten begegnen werden, einfach weil dort der höhere Druck keine proportionale Vermehrung der Molekule in der Volumeinheit bewirkt, und nach der von uns gewonnenen und durchaus bewährten Vorstellung lediglich von der grösseren Anzahl der auf die Scheidewand betreffenden Molekule jene Einwirkung abhängig ist.

Man hat nun in der That eine Reihe von feinporigen Substanzen ausgemittelt, die sehr vollkommen jene ideelle Beschaffenheit zu besitzen scheinen, denn sie leisten in der That Das, was die Theorie nach der gemachten Annahme voraussehen lässt. Künstlich gepresster Graphit, Biscuit, *) etc., also ganz verschiedenartige Substanzen liessen, als Scheidewand gebraucht, die einzelnen Gase im Verhältniss der Quadratwurzeln ihrer spezifischen Gewichte durch. Auch Gypsplatten **) verhalten sich ähnlich, obschon hier die Erscheinung durch andere nebenherlaufende Vorgänge ***)

*) Vergl. Graham: Jahresber. f. Chem. 1863. p. 20, 21.

**) Vergl. namentlich Bunsen: Gasometr. Methoden p. 209—242 und Graham: A. a. O. p. 21.

***) Durch sogenannte Transpiration, von der gleich kurz gesprochen werden soll; vergl. Anm. ***) p. 299.

einiger Massen getrübt wird. Der Gasaustausch erfolgt durch solche Scheidewände mehr oder weniger annähernd der Quadratwurzel ihrer spezifischen Gewichte proportional, und zugleich leisten die Scheidewände der Engigkeit ihrer Poren wegen dem Gasdruck einen so erheblichen Widerstand, dass die in Folge des ungleichen Austauschs entstehenden Druckdifferenzen einen hohen Werth erreichen und sehr deutlich sichtbar gemacht werden können.

Suchen wir uns dieses Verhalten durch einen kleinen Versuch anschaulich zu machen. Ich habe hier eine oben mit einem dicken Gypspfropfen verschlossene Glasröhre. Der Pfropf ist indessen noch ein kleines Stück von dem Ende der Glasröhre entfernt, so dass noch die Möglichkeit bleibt, dieselbe mit einem völlig unporösen Körper, einem eingeriebenen und gefetteten Glasstöpsel zu verschliessen. Ich setze diesen Kork auf und leite nun aus einem mit Wasserstoffgas gefüllten Gasometer mittelst eines gebogenen Glasrohrs, das ich in meine aufrechtgehaltene verschlossene Röhre bringe, in raschem Strome Wasserstoffgas, das nun (freilich ohne dass wir dies wahrnehmen) vermöge seiner spezifischen Leichtigkeit die schwerere Luft rasch verdrängt. Ich schliesse die mit Wasserstoff nun angefüllte Röhre unten mit dem Daumen und führe sie mit dem untern Ende in diesen mit Wasser gefüllten Cylinder ein, entferne den Daumen und tauche nun die Röhre soweit ein, dass das Niveau des Wassers innerhalb und ausserhalb der Röhre in nahezu gleicher Höhe steht. Jetzt nehme ich den Glasstöpsel weg, und das Wasserstoffgas in der Röhre ist nur noch durch den porösen Gypspfropf von der äusseren Atmosphäre getrennt.

Aber sogleich ist auch das Resultat des Versuches wahrzunehmen. Das Wasser steigt mit einer erheblichen Geschwindigkeit in der Glasröhre. Wir ersehen hieraus, dass ein weit grösseres Volum von Gas aus der Röhre durch die poröse Gypsmasse entweicht, als dafür von den atmosphärischen Gasen von Aussen auf demselben Wege eintritt. — Dies leicht*) anzustellende Experiment, das für die verschiedensten Gase wiederholt werden kann, lehrt nun unwidersprechlich die Thatsache, deren theoretische Erläuterung wir soeben gegeben haben, dass nemlich ein leichteres Gas rascher eine poröse Scheidewand der benutzten Art zu durchdringen vermag als ein spezifisch schwereres, und dass auf diese Weise erhebliche Druckdifferenzen entstehen können, da die gleichen porösen Wände dem Gas-Drucke eine Zeit lang Widerstand zu leisten vermögen.

Natürlich ist es auf diese einfache Weise nicht möglich, das früher theoretisch abgeleitete Gesetz, dass der Austausch umgekehrt proportional den Quadraten der spezifischen Gewichte der diffundirenden Gase erfolgen muss, experimentell zu erweisen.

Für unseren Zweck ist von den angeführten Verhältnissen vorzüglich die ermittelte Thatsache von Wichtigkeit, dass die chemische Differenz zweier Gase, die durch eine Scheidewand von den erläuterten Eigenschaften getrennt sind, *unter Ausgleichung dieser Differenz eine Druckdifferenz zu erzeugen vermag,* — ein Verhalten, für das wir bei den Diffusionserscheinungen der tropfbaren Flüssigkeiten ein weit vollkommeneres Analogon finden werden. Das Studium der *reinen Diffusionserscheinung* bei Gasen,

*) Nur auf die Darstellung der Gypspfropfen muss einige Vorsicht verwendet und namentlich für eine erhebliche Dicke und guten Schluss derselben Sorge getragen werden.

wie man den Vorgang, bei dem allein die Molekulargeschwindigkeiten in Betracht kommen, nennen kann, ist, obgleich wir demselben in jener Form in der Pflanze niemals begegnen werden, als elementarer Process, ohne dessen Verständniss alle die vielen complicirteren Gas- und Flüssigkeits-Diffusionserscheinungen dunkel bleiben müssen, dieser eingehenderen Behandlung würdig gewesen.

Wir gehen nun weiter uud heben zunächst hervor, dass nicht alle Vermischungen gasartiger Körper durch eingeschaltete Scheidewände nach dieser eben dargelegten einfachen Gesetzmässigkeit stattfinden. Wenn man statt eines porösen Körpers von den geschilderten Eigenschaften einen nicht porösen wählt, der aber die Molekule der Gase in sich aufzunehmen, in sich zu absorbiren oder, wenn man will, zu lösen vermag, was vermittelst spezifischer Anziehungskräfte leicht geschehen kann, so werden die Verhältnisszahlen der Durchgangsgeschwindigkeiten der einzelnen Gase sofort andere.

Eine Scheidewand, die nicht porös (im gröberen Sinne des Worts) ist, aber *vermittelst* solcher *spezifischen Anziehungskräfte* dennoch unter Umständen *den Durchgang flüssiger Körper gestattet, wird als eine Membran bezeichnet.* Beim Durchgang von Gasen durch solche Membranen kommt es nun natürlich *weit weniger mehr auf die Molekulargeschwindigkeiten* dieser Gase an, die unter solchen Umständen nur einen geringen Vorsprung gewähren können, sondern eben auf *jene spezifischen Anziehungskräfte* zwischen Gas und Membran, die jenem allein den Eingang in diese und somit auch die Gelegenheit des Durchgangs durch diese, wenn an der jenseitigen Fläche der Membran die Bedingungen zur Diffussion günstig sind, verschaffen. Unter solchen Umständen — und ganz ähnliche Verhältnisse werden wir bei der Diffusion der tropfbaren Flüssigkeiten antreffen — wird also die Erscheinung eine weit complicirtere. In diesem Falle lässt sich, ohne eingehendes Studium der spezifischen Anziehungskräfte einer jeden Membran, bei der Anwendung einer *neuen* Scheidewand die Art und Weise des nun erfolgenden Gasaustauschs bis jetzt in keinem einzigen Falle theoretisch voraussagen.

Wenn man z. B. Gase durch Kautschukmembranen hindurchgehen lässt, so findet der Durchgang, den man in diesem Falle als *Gasdialyse,* zum Unterschied von der reinen Diffusionserscheinung bezeichnet, für verschiedene Gase mit ausserordentlich verschiedener Geschwindigkeit statt, aber in ganz andern Verhältnissen, als bei der Diffussion durch jene feinporigen Körper. Während bei dieser der Stickstoff als etwas leichteres Gas den Sauerstoff an Durchgangsgeschwindigkeit übertrifft, findet bei der Gasdialyse durch die Kautschukmembran gerade das Entgegengesetzte statt. So kann man z. B. auf diesem Wege (Durchpressen durch eine Kautschukmembran in den luftleeren Raum) die atmosphärische Luft schon durch die einmalige Dialyse so an Sauerstoff bereichern, dass dieselbe die gewöhnlichen Reaktionen dieses Gases gibt, z. B. ein glimmender Holzspan, in das dialysirte Gemisch gebracht, in blendendem Glanze mit Flamme verbrennt. — Die Kohlensäure, die bei der reinen Diffusion wegen ihrer spezifischen Schwere eines der langsamst überströmenden Gase ist, geht durch die Kautschukmembran bei Weitem am Raschesten von allen bis jetzt untersuchten Gasen hindurch, sogar weit rascher als Wasserstoff, der sie an Molekulargeschwindigkeit um $\sqrt{22}$fache übertrifft; — eine Erscheinung, die sich eben nur durch die verhältnissmässig grosse spezifische Anziehungskraft der betreffenden Membran

zu den Molekulen der Kohlensäure, in Folge deren dieser Uebertritt erleichtert wird, erklären lässt.

Die Druckdifferenz, welche bei einer solchen Gasdialyse durch Kautschuk z. B. für Sauerstoff und Stickstoff oder noch besser für Wasserstoff und Kohlensäure eintreten würde, müsste natürlich gerade die umgekehrte sein, als bei der reinen Diffusion dieser Gase in einander, da auch diese membranartigen Stoffe sich gegen Druckdifferenzen als äusserst widerstandsfähig erweisen, und es ist z. B. ein Leichtes, einen kleinen Kautschukballon mit Wasserstoff gefüllt in einer Kohlensäureatmosphäre durch den verhältnissmässig viel rascheren Uebertritt dieses letzteren Gases zum Platzen zu bringen, während nach den Gesetzen der reinen Diffusion gerade das Umgekehrte (die Zusammendrückung des Ballons) geschehen müsste.

Ganz ähnlich wie die Substanz des Kautschuks verhalten sich manche glühende Metalle den Gasen gegenüber. Beim Durchleiten von Gasgemischen durch glühende Platinröhren lassen sich einzelne Gase (namentlich Wasserstoff) durch Dialyse gleichsam absieben, wie Graham *) in seinen vortrefflichen Untersuchungen gezeigt hat, und wir müssen uns dieses eigenthümliche Verhalten genau ebenso erklären, wie den Durchgang von Gasen durch Kautschukmembranen, d. h. aus spezifischen Anziehungskräften des nicht porösen glühenden Metalls, welches die Gasmolekule in sich einlagert, wenn man will, sich mit ihnen legirt und ihnen so Gelegenheit gibt, die völlig dichte Masse zu durchdringen, wie denn in der That solche Verbindungen, wie z. B. von Palladium und Wasserstoff **) schon erhalten worden sind.

Auch an das Verhalten feuchter Membranen oder feuchter poröser Körper muss als Etwas Hierhingehöriges erinnert werden. In diesem Falle wird natürlich noch die spezifische Anziehungskraft des Wassers zu dem Gase, oder die Absorbirbarkeit dieses letzteren in Wasser in Betracht kommen und den Vorgang modificiren. — Gerade für den Gasaustausch der Organismen, deren Membranen unter allen Umständen mehr oder weniger wasserreich sind, kommt diese Mitwirkung des Wassers bei der Gasdiffusion sehr wesentlich in Betracht. ***)

Diese von den Gesetzen der reinen Diffusion abweichenden Erscheinungen der Gasdialyse, die von hoher Bedeutung sind, sowohl für den pflanzlichen Organismus

*) Vergl. Jahresber. d. Chem. 1866 p. 48 u. f.

**) Vergleiche ebenda pag. 49. Die Behauptung Graham's, Legirungen von Palladium und Wasserstoff, also Wasserstoff in fester Form dargestellt zu haben, hat jüngst zu der Sage, der Wasserstoff sei als solcher in metallisch festem Zustande erhalten worden, Veranlassung gegeben.

***) Ein anderes Beispiel, auf das wir hier als ein bei unsern späteren Betrachtungen wenig in's Spiel kommendes nicht einzugehen beabsichtigen, für den Durchgang von Gasen durch Scheidewände in einem andern Verhältniss als dem ihrer Molekulargeschwindigkeiten ist die (von Graham so genannte) Transpiration, d. i. Durchgang von Gasen durch poröse Scheidewände, deren Poren etwas weiter (ein System von Kapillarröhren) sind. In solchen weiteren Kanälchen geht nicht Molekul für Molekul einzeln hindurch, sondern grössere Gasmassen gleichzeitig, und hierdurch wird eine Reibung dieser Gasmassen unter sich bewirkt, deren Intensität sich nach dem Volum richtet, das die einzelnen Molekule einnehmen, und so die Geschwindigkeit ganz und gar abgeändert.

als in demselben Grade für den thierischen, *) sind auch desshalb für uns von grossem Interesse, weil sie die Grundlage bilden für die Betrachtung der nicht minder wichtigen Erscheinungen der Diffussion *tropfbarer Flüssigkeiten* durch Membranen, — eines Gegenstandes, dem wir uns jetzt zuwenden.

Bei Weitem die Mehrzahl der pflanzlichen Nährstoffe (bei manchen pflanzlichen Organismengruppen sogar die Gesammtheit derselben) werden *auf dem Wege der Flüssigkeitsdiffussion* in das Innere der Pflanze aufgenommen. Die bei diesen Vorgängen in's Spiel kommenden Erscheinungen, obschon etwas verwickelter als die bisher betrachteten, werden uns rasch verständlich werden, da wir uns eben in vielen Stücken auf die einfachen Vorgäuge der reinen Gasdiffusion werden berufen können.

Die Behandlung des Durchgangs von tropfbaren Flüssigkeiten durch membranartige Scheidewände setzt natürlich wieder eine oberflächliche Bekanntschaft mit der Theorie des Wesens dieser Flüssigkeiten, sowie mit deren Mischungsvorgängen, ohne Einschaltung von Scheidewänden voraus.

Wir nennen eine *tropfbare Flüssigkeit* ein Aggregat von Molekulen, *deren lebendige Kraft die Anziehung der zunächst benachbarten Molekule zu überwinden vermag, jedoch kleiner ist, als die Anziehung der Gesammtheit der andern Molekule* in Bezug auf Dasselbe, **), während bei Gasen die lebendige Kraft des Einzelmolekuls auch noch die Anziehung aller andern überwindet.

Nach dieser Definition ist sofort einleuchtend, warum sich Gase bei Temperaturerniedrigung oder Druckvermehrung in tropfbare Flüssigkeiten überführen lassen.

Zwei chemisch verschiedene tropfbare Flüssigkeiten werden geneigt sein, sich mit einander *in einem jeden Verhältniss* zu mischen, wenn die Molekule der einen Flüssigkeit stärker von den Molekulen der andern angezogen werden, als von ihren eigenen. ***) Für unsern Zweck kann es genügen, wenn wir uns bei der Behandlung der Diffusionserscheinungen von Flüssigkeiten auf diesen Fall beschränken, der jedenfalls bei Weitem der wichtigste ist, wenn es auch der Vollständigkeit halber verlockender wäre, auf die Theorie der Flüssigkeitsmischungen in bestimmt begrenzten Verhältnissen und ebenso auf die Theorie der Lösungen fester Körper näher einzugehen.

Wenn nun zwei solche Flüssigkeiten, die sich in jedem beliebigen Verhältnisse wie Wasser und Alkohol mit einander mischen, nebeneinander oder übereinander gelagert sind, so dass sie eine Berührungsfläche besitzen, so wird von dieser Fläche aus eine Vermischung stattfinden. — Der Vorgang sieht ganz ähnlich aus, wie der analoge bei den Gasen, ist aber z. Th. durch andere Ursachen bedingt. Dort war es keine Anziehungskraft, die zur Diffusion Veranlassung gab, sondern lediglich die Molekulargeschwindigkeit des Gases, gegen welche die Anziehung der Molekule eines und desselben Gases unter sich verschwand; hier bei den tropfbaren Flüssigkeiten ist die lebendige Kraft der Molekule nicht gross genug, um die Anziehungskraft ihres Gleichen völlig zu überwinden, — und desshalb füllen ja diese Flüssigkeiten

*) Z. B. für die Respiration, wo thierische Membranen durchdrungen werden.

**) L. Dossios: Theorie der Lösungen. Separatabdruck p. 6.

***) Vergl. Naumann: Thermochemie 1869 p. 102.

nicht jeden ihnen zur Verfügung gestellten Raum gleichmässig aus —; hier muss die lebendige Kraft der Molekule durch die Anziehungskraft fremder Molekule unterstützt werden, und nur, wenn eine andere mit der ersten mischbare Flüssigkeit vorhanden ist, gelingt es, die Molekule dieser ersteren über einen durch das Volum jener begrenzten Raum zu vertheilen. Der Erfolg ist trotz dieser Verschiedenheit der Ursachen annähernd derselbe; nur manifestirt sich bei der Mischung der Flüssigkeiten dadurch ganz deutlich die Mitwirkung der Anziehungskraft, dass eine Wärmeentwicklung,*) ein Uebergang von (chemischer?) Spannkraft in lebendige Kraft eintritt, ein Vorgang, der bei der reinen Gasdiffussion, wo keine Anziehung im Spiel ist und darum auch keine in lebendige Kraft übergehen kann, selbstverständlich niemals bewirkt wird.

Im Uebrigen zeigen beide Vorgänge völlige Analogie. Auch bei der Flüssigkeitsdiffussion wirkt die Molekulargeschwindigkeit der Molekule mit, und desshalb wird auch die Flüssigkeitsdiffussion genau wie die Diffusion der Gase durch Erhöhung der Temperatur, die ja in Nichts Anderem als einer Vergrösserung der Geschwindigkeiten der herumschweifenden Molekule besteht, wesentlich gesteigert.

Nun denken wir uns wieder einen festen Körper von verhältnissmässig engem Querschnitt, dessen Zwischenräume so klein sind, dass eine Filtration durch ihn hindurch nicht stattfinden kann, eingeschaltet. Der Process, den wir nun beobachten, ist denen sehr ähnlich, welche wir für die Gase betrachtet haben, und lässt sich in allen Stücken der Gasdialyse zur Seite stellen. Es handelt sich nemlich bei Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten durch Membranen, welchen Vorgang wir jetzt mit einem eigenen Namen als *Osmose* **) bezeichnen werden, nicht allein um *die Molekulargeschwindigkeiten der beiden diffundirenden Flüssigkeiten*, sondern, wie aus der gegebenen Theorie des Vorgangs hervorgeht, auch um *die gegenseitigen Molekularanziehungen dieser Flüssigkeiten.* Allein auch diese beiden Momente bestimmen den Vorgang der Osmose noch nicht vollständig,***) es

*) Eine solche müsste nach der Theorie der Lösungen bei jeder in allen möglichen Verhältnissen stattfindenden Mischung vor sich gehen, und es gelingt in der That überall da, wo in diesem Falle eine Temperaturerniedrigung beobachtet wurde, solche durch Veränderung der spezifischen Wärme zu erklären. (Vergl. Naumann: A. a. O. p. 107). Freilich entkräftet derselbe durch die Schlussbemerkung des betreffenden Passus seine eigene Erklärungsweise. In allen Mischungen, die nicht in jedem beliebigen Verhältnisse vorgenommen werden können, tritt dagegen, wenn man es mit einem reinen Michungsvorgang zu thun hat, Wärmebindung ein.

**) Früher sprach man nach einem einseitigen Sprachgebrauch von Exosmose und Endosmose, wodurch dann gleichzeitig die Zu- oder Abnahme des Volums derjenigen Flüssigkeit, auf deren Membrandiffusion man sein Augenmerk richtete, ausgedrückt wurde.

***) Sie würden ihn allein bestimmen, wenn die eingeschaltete Scheidewand keine spezifischen Anziehungskräfte geltend machte, wenn dieselbe sich Flüssigkeiten gegenüber so verhielte, wie die Graphit- und Bisquitplatten Gasen gegenüber. Ein solcher Vorgang müsste dann als Analogon der reinen Gasdiffusion (unter Umständen auch der Transpiration) von der Osmose, welche der Gasdialyse analog ist, und von welcher wir im Texte allein handeln werden, unterschieden werden. Ob jene Bedingungen (Ausschluss der spezifischen Anziehungskräfte der Scheidewand) bei der Flüssigkeitsdiffusion durch poröse Thoncylinder erfüllt sind, ist wohl nicht festgestellt worden, obgleich dies durch Demonstration der

wirkt ausser derselben — und dieser Umstand macht die in Rede stehende Erscheinung der Gasdialyse so ausserordentlich ähnlich — noch *die Substanz der Membran mit ihren spezifischen Anziehungen* mit.

Dass dem so ist, lässt sich leicht zeigen. Wäre die Bewegung der Osmose lediglich von den Molekularkräften der Flüssigkeiten abhängig, so müsste die Wahl der Membran für den Verlauf des Vorgangs genau so gleichgültig sein, wie bei der reinen Gasdiffusion (Durchgang durch einen Körper von so engen Poren, dass keine Gasmassen gleichzeitig, sondern nur einzelne Molekule eintreten können) die Wahl des porösen Körpers ganz und gar gleichgültig ist. Wir werden aber sogleich sehen, dass der Vorgang je nach der Wahl der Membran ein höchst verschiedener ist, genau wie die Gasdialyse, von der wir gesprochen haben, in ganz anderer Weise verläuft, je nachdem man Kautschukmembranen, glühende Platinplatten oder andere zur Dialyse geeignete feste Körper wählt.

Wir haben auch ferner hier wieder hervorzuheben, dass schon ohne Vorhandensein einer Membran wie bei den Gasen im Allgemeinen die Diffusionsbewegung der beiden sich vermischenden Flüssigkeiten nach beiden Richtungen mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten vor sich gehen muss, da die Molekulargeschwindigkeit jeder einzelnen Flüssigkeit (welche eine der bei dem Vorgang in's Spiel kommenden Momente ist) im Allgemeinen eine verschiedene sein wird. — Allein es kann wie bei der Diffusion der Gase ohne Membran auch hier nicht zu einer wirklich merklichen Druckdifferenz kommen, da diese sogleich eine sie wieder vernichtende Rückwirkung geltend macht und so im Keim erstickt wird. Ist aber eine Scheidewand da, welche dem einseitigen Drucke kräftigen Widerstand leistet, so wird es, wie bei der Gasdiffusion so auch bei der osmotischen Bewegung der tropfbaren Flüssigkeiten, zu einem ungleichmässigen Uebertritt der Molekule der einen Seite, d. i. zu erheblichen Druckdifferenzen kommen können. Die membranartigen Scheidewände, welche bei der Osmose die beiden Flüssigkeiten trennen, sind in Bezug auf ihre Durchlässigkeit für die Molekule der Flüssigkeiten weit widerstandsfähiger einem erhöhten hydrostatischen Drucke gegenüber, wie jene porösen Körper und (Dialyse zulassenden) Membranen für die Gasmolekule — es ist dies z. Th. aus dem Filtrationswiderstand, den sie leisten, klar ersichtlich —, und es ist in der That möglich, sich von der Ursache dieser Erscheinung eine ebenso plausible Vorstellung zu bilden, wie bei dem etwas abweichenden Verhalten jener engporigen Scheidewände den Gasen gegenüber.

Wir können uns die Fähigkeit von Membranen, einem einseitigen Flüssigkeitsdruck nicht nachzugeben, aber mit beiden Seiten an Flüssigkeiten grenzend, die Diffusion dieser Flüssigkeiten zuzulassen, in folgender Weise erklären.*) Die Molekule der Membran ziehen nach unserer Voraussetzung die Molekule beider Flüssigkeiten an und nehmen sie zwischen sich auf. So gelangen die Flüssigkeitstheilchen an die entgegengesetzte Grenzfläche der Membran, von wo aus dann die eigentliche

Unabhängigkeit der Erscheinung von der Wahl des als Scheidewand dienenden Materials leicht möglich wäre.

*) Ueber die Theorie der Osmose (oder Diosmose) vergleiche die geschichtliche Zusammenstellung von Schumacher: Physik der Pflanze 1867 p. 138. Ein litterarischer Bericht über osmotische Untersuchungen bei W. Schmidt: Pogg. Ann. B. 99 p. 340.

Diffusionswirkung beginnt. Unterliegt die eine Flüssigkeit einem höheren Druck als die zur andern Seite der Membran befindliche, so ist auf der einen Seite eine nur sehr wenig grössere Anzahl von Molekulen vorhanden, da die tropfbaren Flüssigkeiten nicht erheblich zusammendrückbar sind. Die Molekulargeschwindigkeiten der nach der Voraussetzung gleichwarmen, aber unter verschiedenen Drucken stehenden Flüssigkeiten sind aber einander ganz gleich, so dass die Molekule der gepressten Flüssigkeiten beim Durchgang durch Membranen überhaupt keinen erheblichen Vortheil voraus haben. So kommen wir mit leichter Mühe zu dem Resultate, dass die Osmose weit mehr als die Gasdiffusion dem Drucke entgegen stattfinden und fortdauern muss.

Auf diese Weise kann (also nicht ganz analog der Erklärung des Entstehens eines Gasdrucks bei der Diffusion elastischer Flüssigkeiten durch engporige Scheidewände) *die Entstehung eines hydrostatischen Drucks* in Folge der Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten ihrer Ursache nach leicht erfasst werden.

Auch diesen Vorgang der Entstehung eines hydrostatischen Druckes durch Osmose wollen wir uns durch das Experiment veranschaulichen. Ich habe hier einen Cylinder, der mit Wasser gefüllt ist. In dieses Wasser taucht schon die ganze Zeit ein Glasrohr, das nach unten mit einer Membran, dem sogenannten vegetabilischen Pergament *) verschlossen ist. Ich ziehe das Glasrohr einen Augenblick heraus; — es ist völlig leer. Es geht schon aus diesem Umstande der bedeutende Filtrationswiderstand hervor, den die Membran geltend zu machen im Stande ist; denn sie war ja die ganze Zeit mit Wasser unter einem ziemlich beträchtlichen, der Länge des Rohrs unter dem Wasser entsprechenden, hydrostatischen Drucke in Berührung und hat gleichwohl keinen Tropfen hindurchgelassen.

Ich stelle nun die Glasröhre in das Wasser zurück und fülle es genau bis zu der Höhe, wo aussen das Wasser steht, mit einer Lösung von Kupfervitriol an. Die in der Glasröhre befindliche Flüssigkeit ist als concentrirte Salzlösung schwerer als Wasser, und wir wissen daher, dass auf jene, unten die Glasröhre schliessende Membran ein grösserer hydrostatischer Druck von Innen als von Aussen wirkt. Dennoch wird nach kurzer Zeit — und am Ende dieser Vorlesung wird Dies schon deutlich sichtbar sein **) — die Flüssigkeit in der Röhre an Volum zunehmen, also der hydrostatische Druck ein noch einseitigerer werden.

Die Erklärung dieser Thatsache ist nach dem vorher Gesagten eine äusserst einfache. Die Kraft, welche die Molekule des Wassers durch die Membran hindurch in die Lösung treibt, und welche sich zusammensetzt aus der Geschwindigkeit der Bewegung der Wassermolekule, aus der spezifischen Anziehungskraft der Membran zu diesen Molekulen und aus der Anziehungskraft dieser letzteren zu den Molekulen der innerhalb der Röhre sich befindenden Lösung ist grösser als die Kraft, die um-

*) Durch concentrirte Schwefelsäure verändertes und seiner Filtrationsfähigkeit beraubtes Papier.

**) Will man den Versuch in so kurzer Zeit mit der angegebenen Lösung und Membran sichtbar machen, so muss die Röhre oben, wo die Flüssigkeit steigen soll, verhältnissmässig sehr eng gewählt werden.

gekehrt die Molekule der Lösung *) durch die Membran nach Aussen treibt, und die sich in ganz analoger Weise aus drei Momenten zusammensetzt.

Man sieht deutlich auch durch dies einfache Experiment, das ich soeben angestellt habe, und dessen Erfolg schon in wenig Minuten beginnen wird sichtbar zu werden, und durch dessen Aehnlichkeit mit jenem andern zur Veranschaulichung der Gasdiffusion angestellten, dass die Diffusionserscheinungen (im weitesten Sinne des Worts) für die tropfbaren Flüssigkeiten ganz ähnliche Effekte herbeiführen als für die Gase, wenn auch der Grund der osmotischen Erscheinungen wesentlich verschieden ist von der Ursache jener Vorgänge des Durchgangs von Gasen durch poröse Scheidewände. — In Bezug auf ihre Durchgangsfähigkeit durch die gewöhnlichen zur Osmose in Anwendung kommenden Membranen zeigen nun die Flüssigkeiten allgemeinere Unterschiede, auf die hier schon kurz hingedeutet werden soll. Es gibt eine Reihe von Stoffen, die in wässrigen Lösungen durch Membranen aller Art mit Leichtigkeit hindurchgehen, oder, wie man sich auch ausdrückt, ein kleines osmotisches Aequivalent **) besitzen; es sind dies meist Stoffe, die wie unsere gewöhnlichen Salze leicht krystallisiren, und dieselben sind desshalb auch als *Krystalloïdal-Substanzen* bezeichnet worden.

Andere Stoffe — und hier nun vorwiegend solche, die keine Krystallform anzunehmen im Stande sind, — zeigen in ihrer wässrigen Lösung eine sehr geringe Durchgangsfähigkeit durch Membranen oder ein sehr grosses osmotisches Aequivalent; diese sind *Colloïdal-Substanzen* genannt worden. Die Eiweisskörper, der Leim u. dergl. gehören in diese letztere Klasse.

Es gelingt z. B. leicht eine mit wässrigem Eiweiss gefüllte Blase, wenn man sie in Wasser oder manche Salzlösungen legt, zum Zerspringen zu bringen, weil das aufgenommene Flüssigkeitsvolum grösser ist, als das ausgegebene, und die Membran der Blase einen sehr grossen Filtrationswiderstand leistet.

Wir können aus der Erläuterung dieser Vorgänge auch das allen denselben Gemeinschaftliche als für uns wichtiges Resultat mit hinwegnehmen, dass nemlich die Möglichkeit besteht, mittelst einer *membranartigen Scheidewand chemische Differenzen von Gasen und Flüssigkeiten,* die durch eine solche Scheidewand getrennt sind, *in einen Gas- oder Flüssigkeitsdruck* d. i. *mechanische Spannkraft, die zur Leistung von mechanischen Arbeiten geschickt ist, zu verwandeln.* ***) In der

*) Strenger die Molekule der gelösten Stoffe, durch welche sich die Lösung von dem Wasser unterscheidet. Es kommt indessen bei dieser Darstellung nicht so sehr auf die Strenge des Ausdrucks an.

**) Die Definition des Ausdrucks „osmotisches Aequivalent" ist: diejenige Menge Wasser, die an einem (Gewichts-?) Theil des durch die Membran diffundirenden gelösten Stoffes vorbeigeht oder für ihn übertritt. Eine absolut colloïdale Substanz würde als eine Substanz von unendlich grossem osmotischen Aequivalent zu bezeichnen sein. (Vergl. Schumacher: Physik der Pflanze 1867 p. 124). Bezeichnender wäre wohl der Name eines osmotischen Coefficienten im reciproken Sinne.

***) Bei der Gasdiffusion geht dabei etwas lebendige Kraft der Molekule, etwas Wärme verloren, bei der Flüssigkeitsdiffusion wesentlich chemische Spannkraft, die dann in Form von mechanischer Spannkraft vorgefunden werden.

einfachsten Weise macht sich diese Möglichkeit freilich schon bei der Diffusion ohne Membran geltend. in dem bekanntlich bei dieser die Schwerkraft überwunden werden kann, wenn wir nemlich das spezifisch schwerere Gas oder die schwerere Flüssigkeit unter das leichtere Gas oder die Flüssigkeit schichten, wo dann unter Hebung schwererer Molekule und Senkung leichterer, also unter Leistung von mechanischer Arbeit die Vermischung stattfindet.

Ich brauche nicht weiter darauf hinzudeuten, dass der eben beschriebene Effekt der Diffusionswirkungen für unsere Untersuchungen an der Pflanze von hoher Wichtigkeit sein muss, da eine jede Zellhaut eine *wahre Membran* mit allen den geschilderten Eigenthümlichkeiten ist. — Wir werden dies in Bälde zur Genüge erkennen.

Bevor wir aber auf die Diffusionsvorgänge an der lebenden Pflanze zu reden kommen, müssen wir noch einige Worte über die Abhängigkeit der Osmose von der Beschaffenheit der Membran sagen und auch noch etwas auf die Absorptionserscheinungen von Gasen in Flüssigkeiten und die Verdunstungserscheinungen eingehen, welche vielfach in die Diffusionsvorgänge eingreifen, sie in mannigfaltiger Weise modificirend.

Wir konnten uns von der Fähigkeit gewisser nicht poröser fester Körper, der eigentlichen Membranen, die hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit einem Drucke auf's Aeusserste widerstehen, Gas- und Flüssigkeits-Diffusion zuzulassen, nur so eine Vorstellung machen, dass wir annahmen, die Molekule der unter diesen Umständen durchgangsfähigen Flüssigkeiten würden vorübergehend zwischen die Molekule der Membran eingelagert. Was die Gasdialyse betrifft, so haben wir für diese gesehen, dass die Aufnahme der diffusibeln Gase von den als Membran wirkenden Substanzen durch das Experiment thatsächlich nachgewiesen ist. Aus dieser nothwendigen Annahme geht nun hervor, dass der ganze Gang der Diffusion in den relativen Mengen der sich austauschenden Stoffe *von der spezifischen Beschaffenheit dieser Membranen* abhängig ist. Für die Gasdialyse haben wir diese Abhängigkeit sehr deutlich constatirt, für die Osmose bis jetzt nur von Ferne angedeutet.

Die osmotischen Vorgänge zwischen zwei Flüssigkeiten sind in der That, wie hunderte von Versuchen lehren, *) von der Substanz der sie trennenden Membran in ihrer ganzen äusseren Erscheinung bedingt, und Dies kann nach der gemachten Folgerung auch nicht anders sein. Es geht diese Abhängigkeit so weit, dass es, wie wir früher schon hervorgehoben haben, bei zwei ganz gleichen Flüssigkeiten mit leichter Mühe gelingt, blos durch Wahl einer andern Membran, den Diffusionsstrom (wie man sich ausdrückt) umzukehren d. h. zu veranlassen, dass in einem Fall der Uebertritt von Molekulen der einen Flüssigkeit in die andere das Uebergewicht behält, im andern Falle der entgegengesetzte Uebertritt vorherrscht. So geht nach Dutrochet**) der Diffusionsstrom durch die Membran der thierischen Blase von mehreren Paren sich mischender Flüssigkeiten, wie z. B. Oxalsäurelösung und Wasser in entgegengesetzter Richtung wie durch die Röhre des Lauchs.

*) Vergl. auch die Arbeiten von W. Schmidt: Pogg. Ann. B. 99 p. 337 und B. 114 p. 337.

**) Knop: Kreisl. d. Stoffs. II. p. 23.

Wir müssen uns diese Thatsachen nach dem vorhin Gesagten selbstverständlich so erklären, dass in einem Fall die lebendige Kraft der Molekule der ersten Flüssigkeit, plus der spezifischen Anziehungskraft dieser Molekule zu den der zweiten Flüssigkeit, plus der spezifischen Anziehungskraft dieser Molekule zu der Membransubstanz grösser gewesen sind, als die entsprechenden Kräfte, die bei der zweiten Flüssigkeit zur Geltung kommen konnten, im andern Falle umgekehrt, und dass dabei die Werthe des dritten Momentes, die in diesem Falle allein variabel sind, sich in der Weise geändert haben, dass die Differenz der beiden Summen einen andern Sinn bekommen hat.

Aus dieser Ueberlegung folgt gleichzeitig, dass das Verhältniss jener Summen, von dem die sog. Richtung des Diffusionsstromes abhängt, auch durch eine Veränderung der Temperatur, wodurch die Molekulargeschwindigkeit der diffundirenden Flüssigkeiten in verschiedenen Verhältnissen *) abgeändert wird, ein anderes werden kann und häufig ein anderes werden wird. In der That lehrt auch die Erfahrung, dass der Diffusionsstrom zweier Flüssigkeiten bei Veränderung der Temperatur sich häufig umkehrt.

Aus der gleichen Betrachtung lässt sich ohne allen Zweifel auch folgern, dass durch blosse Veränderung der Concentrationen der benutzten Lösungen auch das Verhältniss jener Summen unter Umständen ein anderes werden kann. **)

Wir werden durch diese verwickelten Umstände, die das Gefolge sind einer durch mehrere Momente zu Stande kommenden Erscheinung, darauf aufmerksam gemacht, dass es nicht, wie es vielleicht Manchem in den Sinn kommen könnte, erlaubt ist, aus irgend einer osmotischen Erscheinung, die bei Benutzung einer beliebigen Membran beobachtet wurde, sofort Schlüsse zu ziehen und dieselben auf die Zustände des Pflanzenreichs zu übertragen, wenn ich auch entschieden dafür einstehen möchte, dass eine Reihe von Schlüssen, die dem Studium dieser Erscheinungen entstammen, sofort einer fruchtbaren Anwendung für eine Reihe von physiologischen Vorgängen fähig sind. — Ich hoffe dies sehr bald zeigen zu können.

Noch bleibt uns der Einfluss zu behandeln, den die Einschaltung von Membranen auf die Wechselwirkung zwischen Gasen und Flüssigkeiten ausübt.

Die meisten tropfbaren Flüssigkeiten besitzen bei gewöhnlicher Temperatur eine gewisse Tension d. h. das Bestreben ihrer Molekule sich von der Anziehung der übrigen Molekule der Flüssigkeit zu emancipiren und als freie Gasmolekule in weite Fernen zu schweifen. Steht eine solche Flüssigkeit in unmittelbarer Verbindung mit einem, weder durch einen festen noch einen tropfbar flüssigen Körper erfüllten Raum, so nehmen so lange fortwährend gewisse Theilchen der Flüssigkeit Gasgestalt an, bis der Raum bis zu einem gewissen von der Temperatur abhängigen Grade von den entweichenden Molekulen angefüllt ist.

Dieses einfache Verhältniss, auf dessen theoretische Erläuterung wir nicht weiter eingehen wollen, wird wesentlich durch die Einschaltung einer Membran abgeändert.

*) Einfach, weil die lebendige Kraft im selben Verhältnisse abgeändert wird. Siehe oben p. 293.

**) Experimentelle Bestätigungen dieser Folgerung sind mir nicht bekannt.

Es ist leicht verständlich, in welcher Weise die Einschaltung einer Membran bei einem derartigen Vorgang allein wirken kann. Es wird auch hier wieder die *Anziehungskraft der Membran zu den Flüssigkeitstheilchen* eine sehr erhebliche Rolle spielen. Besteht eine solche d. h. hat eine Flüssigkeit die Fähigkeit, eine Membran zu befeuchten und sie quellen zu machen, so wird der Verdunstung einer solchen Flüssigkeit auch nach der Absperrung durch die Membran keine sehr wesentliche Einschränkung erleiden; ist dies nicht der Fall, so muss sich die Membran der Flüssigkeit gegenüber so verhalten, wie eine Glaswand allen Flüssigkeiten gegenüber d. h. als die Verdunstung völlig unmöglich machend.

Hat nun eine und dieselbe Membran die Fähigkeit, die Molekule irgend einer Flüssigkeit durch eine spezifische Anziehungskraft in sich aufzunehmen, die Molekule einer andern aber nicht, und sind ausserdem die Bedingungen zur Verdunstung beider Flüssigkeiten jenseits der Membran vorhanden, so wird die eine Flüssigkeit durch die Membran hindurch verdunsten, die andere aber nicht, und wenn selbst die Flüchtigkeit dieser letzteren weit grösser wäre. So erklärt sich denn die ziemlich bekannte, aber uns bei dem ersten Versuch ihrer Erklärung ziemlich befremdlich entgegentretende Thatsache, die schon in alter Zeit technisch ausgenützt worden sein soll, dass wässriger Weingeist durch eine thierische Blase concentrirt werden kann, wenn man ihn, in eine solche gefüllt, an der Luft der Verdunstung aussetzt. — Die Flüssigkeit des Gemisches, welche die kleinere Tension besitzt, das Wasser verdunstet dem gewöhnlichen Sachverhalt entgegen durch die thierische Blase hindurch weit rascher, als die andere von grösserer Flüchtigkeit, der Alkohol, weil nur jenes im Stande ist, die Blase zu durchdringen, die Molekule des Alkohols aber von dieser nicht aufgenommen werden.

Ein ganz ähnlicher Effekt wird nun bei Absorptionserscheinungen von Gasen in tropfbaren Flüssigkeiten durch die Einschaltung einer Membran zwischen Gas und Flüssigkeit ausgeübt.

Bekanntlich haben viele Gase die Fähigkeit von tropfbaren Flüssigkeiten aufgenommen oder, wie wir sagen, absorbirt zu werden. Die in die Flüssigkeit eindringenden Gasmolekule verhalten sich alsdann genau wie die Molekule einer tropfbaren Flüssigkeit selbst; d. h. ihre lebendige Kraft ist geringer, als die Gesammtanziehung der auf sie wirkenden Flüssigkeitsmolekule. Der ganze Vorgang ist selbstredend von den spezifischen Anziehungskräften der betreffenden Gase und Flüssigkeiten wesentlich abhängig, und von denselben ist natürlich auch die Sättigungskapacität der tropfbaren Flüssigkeiten für die einzelnen Gase, die bekanntlich ausserordentlich verschieden ist, *) bedingt.

Findet nun aber eine solche Absorptionserscheinung, deren gesetzmässiger Verlauf an sich leicht verständlich ist, nach Einschaltung einer Membran statt, so wird

*) Von einem Volum Wasser werden bis 18° C. folgende Mengen der angeführten Gase absorbirt:

Kohlensäure	1,06	Vol.
Sauerstoff	0,065	„
Wasserstoff	0,046	„
Stickstoff	0,042	„

das Resultat derselben wesentlich durch die Eigenschaften dieser letzteren abgeändert. Es kommt auch hier wieder darauf an, ob die betreffende Membran für beide in's Spiel kommende Körper keine spezifische Anziehungskraft besitzt, oder ob sie die Molekule des Gases oder der Flüssigkeit zwischen ihren eignen Molekulen einzulagern fähig ist. Im erstern Fall wird sie als undurchdringliche Scheidewand sich verhalten und die Absorptionserscheinung ganz und gar verhindern, in einem der letzteren Fälle wird keine erhebliche Beeinträchtigung des Vorgangs, unter Umständen vielleicht gar eine Beschleunigung desselben eintreten können. Man braucht nach dem früher Gesagten Nichts Weiteres hinzuzufügen, um von dem hier zu erläuternden Sachverhalt eine richtige Vorstellung zu gewinnen.

Es wird beinahe überflüssig sein, hier nochmals darauf aufmerksam zu machen, dass auch bei den beiden zuletzt ins Auge gefassten Vorgängen, bei Verdunstungs- und Absorptionserscheinungen unter Einschaltung einer Membran, sich wieder die Widerstandsfähigkeit dieser Scheidewände gegen Gas- und Flüssigkeits-Drucke, die es allein ermöglicht, dass man mit Hülfe von ihnen Apparate, durch die mechanische Arbeit verrichtet werden kann, zu construiren vermag, in bekannter Weise geltend macht. Eine von einer Membran nach Aussen abgeschlossene Flüssigkeit, die durch jene hindurch verdunstet, verhält sich genau wie eine solche Flüssigkeit, die bei der Osmose ein grösseres Volum von Molekulen nach Aussen abgibt, als von dort wieder empfängt; das heisst, es herrscht nach einiger Zeit in ihr ein niedrigerer Druck, als in ihrer Umgebung. *) — Dies ist ein Verhalten, das, wie wir bald sehen werden, in jeder Luftpflanze eine bedeutende Rolle spielte.

In Bezug auf die Absorption ist zu sagen: Eine von einer Membran nach Aussen hin abgeschlossene Flüssigkeit, die durch jene hindurch Absorptionserscheinungen unterhält, d. h. Gasmolekule in sich aufnimmt, verhält sich genau wie eine solche Flüssigkeit, die bei der Osmose ein grösseres Volum von Molekulen von Aussen empfängt, als dorthin abgibt; d. h. es herrscht nach einiger Zeit in ihr ein höherer Druck als in ihrer Umgebung. **)

So weit wir es hier gethan haben, erschien es mir durchaus unerlässlich, die Diffusionserscheinungen im weitesten Sinne des Worts einer allgemeineren Betrachtung zu unterwerfen, um die complicirten Vorgänge der Stoffaufnahme in der Pflanze, die nur durch dahingehörige Vorgänge erklärt werden können, verstehen zu lernen. Es ist nothwendig, sich bei Betrachtung jener Verhältnisse immer die Hauptgesichtspunkte, zu denen wir heute gelangt sind, in's Gedächtniss zurückzurufen, um nicht bei vielen Erklärungsversuchen die unsäglichste Verwirrung anzurichten. Diese neue Aufgabe realerer Natur wird uns in den nächsten Vorlesungen beschäftigen.

---

*) Vorausgesetzt, dass die Membran eine gewisse Elasticität, die Fähigkeit in einen gespannten Zustand überzugehen, besitzt, wie dies bei gesunden pflanzlichen Zellhäuten in der That gefunden wird.

**) Genau unter derselben Voraussetzung.

Neunzehnte Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Der Gasaustausch der Pflanzen. — Die rein osmotische Stoffaufnahme.

Wir müssen uns heute zunächst über die Aufgaben klar zu werden suchen, die in der Pflanzenernährungslehre mit Hülfe der Kenntniss der Diffusionserscheinungen gelöst werden können.

Reden wir zunächst von dem Gasaustausch der Pflanzen. — Die Frage nach den Stoffen, die in Gasform von den Pflanzen während des Vollzugs ihrer Lebenserscheinungen aufgenommen und ausgegeben werden können, ist leicht zu beantworten, wenn wir die Resultate unserer seitherigen Betrachtungen vor uns Revue passiren lassen. Es gehört hierhin für die meisten Pflanzen die *Kohlensäureaufnahme* und *Sauerstoffausgabe* bei der Produktion der organischen Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle, *der umgekehrte Gasaustausch* bei der Pflanzenathmung. Es kommt ausserdem noch in Betracht, *die Aufnahme des kohlensauren Ammoniaks*, die bei manchen Pflanzenformen in sehr kleinen Mengen in Gasform zu geschehen scheint, und schliesslich *die Ausgabe des Wassers*, die bei den Luftpflanzen*) in Gasform geschieht, und vielleicht noch bei manchen Pflanzen die gelegentliche Aufnahme von Wasser in Gasform. Dies sind aber jedenfalls alle wesentliche Vorgänge in der Pflanze, bei denen der Austausch von Gasen eine Rolle spielt. Von der Ausgabe mancher riechenden ätherischen Oele in Gasform können wir hier ganz absehen.

Wenn wir zunächst zu der Aufnahme von Kohlensäure und der Ausgabe von Sauerstoff übergehen, so muss selbstverständlich auf den anatomischen Bau der chlorophyllhaltigen Organe Rücksicht genommen werden, der ein ganz eigenthümlicher ist und von dem natürlich der Gaswechsel seiner Art und Intensität nach ganz und gar bedingt ist. Wir werden indessen hier nur auf den Bau der betreffenden Organe bei den höheren Landpflanzen, mit denen es die Landwirthschaft zunächst zu thun hat, Rücksicht nehmen.

Die chlorophyllhaltigen Organe aller höheren Pflanzen enthalten häufig eine grössere Reihe von Zellschichten, die alle chlorophyllhaltig, also ihrer physiologischen Einrichtung nach befähigt sind, Kohlensäure zu verarbeiten und Sauerstoff auszugeben. Sind diese einzelnen Zellen alle auf die Kohlensäure angewiesen, die ihnen durch die Atmosphäre geliefert wird — eine Frage, mit der wir uns gleich befassen werden —, so sind die Zellen der tieferliegenden Zellreihen auf den ersten Anblick offenbar hinsichtlich der prompten Zufuhr des ihnen zu ihrer Arbeit unentbehrlichen Rohmaterials in einer weniger günstigen Lage, da sie mit dem „Abtrag von anderer Leute Gastung vorlieb nehmen“ müssen, und bei einer starken Thätigkeit der äusseren Zellen nur eine noch viel kohlensäureärmere (wo nicht kohlensäurefreie) Luft, als die Atmosphäre ist, zu ihnen gelangen kann, auch wenn wir die allergünstigsten Diffusionsverhältnisse für jenen Stoff annehmen.

*) Wie wir alle Landpflanzen, Schmarotzerpflanzen und aus dem Wasser hervorragenden Wasserpflanzen nennen können.

[illegible]

Es lässt sich annähernd berechnen, dass für die gewöhnlichen Verhältnisse der Pflanzenproduktion draussen auf unsern Ackerfeldern die Kohlensäure des Bodens, die durch Verwesung von Ernteresten und Mist durchschnittlich entsteht und andererseits durch das Regenwasser in das Erdreich gelangt, nicht ausreicht***) für den Bedarf der Pflanze an diesem Nahrungsmittel, so dass auch aus diesem Sachverhalt schon mit grosser Wahrscheinlichkeit der Schluss gezogen werden muss, *dass die Kohlensäure der Atmosphäre von der Pflanze, die ihre grünen Organe in das Luftmeer*

*) Die Landwirthschaft etc. deutsch v. Gräger. 1844. I. p. 45.

**) Die ganze später von diesem Forscher ausgebildete Methode der Messung der Intensität der Kohlensäurezersetzung unter verschiedenen Umständen beruht auf derselben Thatsache. Vergl. auch Corenwinder (Jahresber. f. Agrikulturchemie 1858—59 p. 100 u. ff.) ferner die Versuche von Vogel und Wittwer: Abhandl. d. Königl. bair. Akad. d. Wissensch. B. VI. p. 265.

***) Bunsen hat berechnet, dass die Kohlensäure, die durch das Regenwasser in die Ackererde gelangt bei Weitem nicht ausreicht — sie ist 2,57 Gr. auf 1 Quadr.meter —, um die thatsächlich beobachtete Kohlenstoffproduktion der Pflanzen zu decken (vergl. Annal. der Chem. u. Pharm. B. 93 p. 18); und die Kohlensäure, welche durch Verwesung geliefert wird, ist auf vielen reichtragenden Ländereien sehr unbedeutend, und muss natürlich im Durchschnitt immer geringer sein, als die zur Neuproduktion dienende Menge.

taucht, in Anspruch genommen wird, um die üblichen Ernten an Pflanzensubstanz zu produciren.

Es ist nun aber auch die umgekehrte Frage aufgetaucht, ob die Kohlensäure des Bodens für die Produktion der organischen Substanz in der Pflanze von irgend welchem Nutzen sei, und auch diese Frage hat eine experimentelle Bearbeitung gefunden, obgleich gerade hier die Beantwortung eigentlich schon von vorneherein bejahend gegeben werden konnte. Sennebier*) hat die Sauerstoffabscheidung zweier grünen Pfirsichzweige gemessen, von denen der eine mit der Schnittfläche in Kohlensäure-haltiges Wasser tauchte, während dem andern nur die Kohlensäure der Luft zur Verfügung stand. Er fand, dass der erstere in derselben Zeit beinahe die doppelte Menge Sauerstoff abgab, als der andere.**)

Aus Alledem zusammengenommen ist aber zu schliessen, dass die Pflanze die Kohlensäure zu ihrer Ernährung nimmt, *wo sie sie findet*, dass sie natürlich die Kohlensäure, die in dem Strom von Wasser, der unausgesetzt durch sie hindurchgeht, vorhanden ist, nicht verschmäht, dass sie aber auch die gasförmige Kohlensäure der Atmosphäre***) mit grosser Macht anzieht und gleichfalls zu ihren Zwecken benutzt.

Sollen wir aber die beiden Quellen dem Reichthum ihres Fliessens (unter gewöhnlichen Umständen) nach beurtheilen, so muss entschieden ausgesprochen werden, dass die Hauptmasse der Kohlensäure, solche die Pflanze zur Produktion verwendet, jedenfalls der Luft entstammt, da die Berechnungen für die Kohlensäurequelle des Bodens ziemlich ungünstige Zahlen ergeben.

Wir haben es also in der Kohlensäureaufnahme durch die oberirdischen Organe der grünen Pflanze vorzugsweise†) mit einer Stoffaufnahme in gasförmigem Zustande

---

*) Boussingault: A. a. O. p. 44.

**) Als weitere Versuche in derselben Richtung können vielleicht die von Peters (unter der Leitung von A. Stöckhardt) angestellten betrachtet werden. Es wurden Hafer und Erbsen in Gefässen unter verschiedenen Vegetationsbedingungen wachsen gelassen und der Boden, in dem die Pflanzen wuchsen, bei den einzelnen Versuchen vergleichungsweise 1) ungelüftet gelassen, 2) mit atmosphärischer Luft allein, 3) mit atmosphärischer Luft und Kohlensäure etc. vermittelst einer eigenthümlichen Vorrichtung durchlüftet. Die Erträge an trockner Pflanzenmasse waren für die einzelnen Pflanzen durchschnittlich in Grammen:

	Ohne Luftzufuhr.	Unter Zufuhr von Luft.	Unter Zufuhr von Luft und Kohlensäure.
Erbsen	0,57	0,82	1,09
Hafer	0,78	2,55	2,83

Hieraus geht also deutlich die Steigerung des Ertrags durch Kohlensäurezufuhr zum Boden hervor. Freilich war hierbei die Möglichkeit sekundärer Einwirkungen der Kohlensäure nicht ausgeschlossen. (Vergl. Landw. Versuchsst. 1859 p. 21).

***) Dass die Pflanze auch allein auf Kosten dieser Kohlensäure der Atmosphäre sehr ansehnliche Mengen von Pflanzensubstanz zu erzeugen vermag, lehren viele Vegetationsversuche in wässrigen Nährstofflösungen, die nur sehr unerhebliche Mengen von Kohlensäure enthalten und während der Vegetation in vielen Fällen noch sehr an diesem Stoffe durch die Pflanze selbst bereichert werden.

†) Die Berechnungen Unger's (vergl. dessen Anatomie u. Physiologie der Pflanzen), welche zu beweisen schienen, dass auch die Kohlensäure der Luft (bei der Annahme der

zu thun, und wir werden uns demgemäss nach Vorrichtungen umzusehen haben, die auch die tiefern Zellschichten der grünen Blätter mit diesem wichtigen Nahrungsmittel versorgen.

Eine ziemlich oberflächliche mikroskopische Untersuchung der Blätter und der sonstigen grünen Pflanzentheile lehrt uns in der That eine Vorrichtung kennen, die bei näherer Prüfung sich geeignet erweist, Etwas dergleichen zu leisten. Die Epidermis eines solchen Organs, die also aus den Aussenwänden der an die Atmosphäre grenzenden Zellen besteht, ist, wie sich aus einer solchen Untersuchung ergibt, kein continuirliches Ganzes, sondern hat spaltenförmige Lücken, die von zwei halbmondförmigen Schliesszellen gebildet werden; vergl. Fig. 3. — Wir sehen hier von der näheren anatomischen Beschaffenheit dieser sogenannten „*Spaltöffnungen*" vollständig ab, sowie auch von deren Entwickelung aus dem früher gleichartigen Gewebe, sondern constatiren einfach deren regelmässiges Vorhandensein auf der Oberfläche aller grünen, in die Luft ragenden Organe. Es muss hier freilich erwähnt werden, dass auch viele andere Organe, wie Blumenblätter, Pflanzentheile chlorophyllloser Organismen und selbst unterirdische Axenorgane regelmässig oder in einzelnen Fällen solche Spaltöffnungen besitzen, aber es kann zugleich hinzugesetzt werden, dass nur chlorophyllhaltige Organe diese Einrichtung mit vollständiger Regelmässigkeit oder im reichlichsten Masse besitzen. *) Man hat sich sogar die Mühe gegeben, die Anzahl dieser kleinen Oeffnungen auf der Flächeneinheit der Blattepidermis zu zählen (A. Weiss) und hat gefunden, dass bei Blättern verschiedener Arten deren Anzahl ausserordentlich wechselt. Auf den □ Millimeter einer Blattepidermis kommen bis zu 700 solcher Spaltöffnungen, im Durchschnitt vielleicht 200.

Die weitere Einrichtung dieser Lücken in der Epidermis der Blätter ergibt sich nun aus Folgendem. Wenn man eine solche Spaltöffnung im Querschnitt betrachtet, so sieht man zunächst, wie unter ihnen ein etwas weiterer lufterfüllter Raum sich befindet, mit dem sie in direkter Verbindung stehen, vergl. Fig. 3 A. Man hat diesen Raum die *Athemhöhle* genannt. Dieser Raum steht nun aber wieder, wie sich unter dem Mikroskope erkennen lässt, mit den lufterfüllten *Intercellularräumen* **) des Blattparenchyms in Verbindung und durch diese endlich mit den geräumigeren luftführenden Gefässen und Holzzellen.

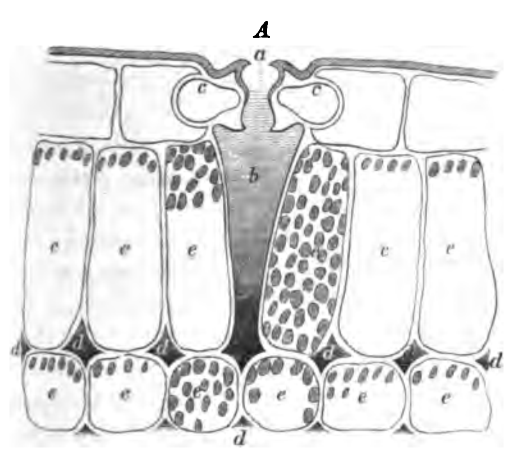
---

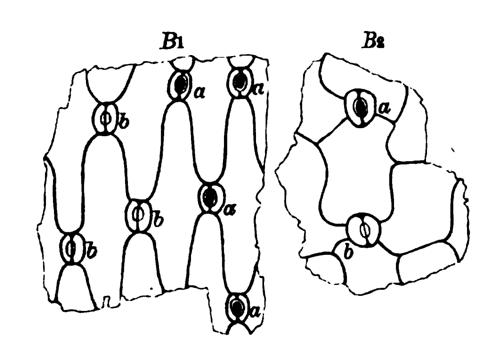
von Boussingault beobachteten Kohlensäureaufnahme durch die Blätter) in vielen Fällen nur zu einem unerheblichen Bruchtheile der thatsächlichen Produktion von organischer Substanz ausreiche, enthalten einen unbegreiflichen Irrthum — die Verwechslung von Gewichtszuwachs und Trockensubstanzzuwachs und beweisen somit gerade das Gegentheil von dem, was sie beweisen sollten.

*) Einen deutlichen Fingerzeig für die hauptsächlichen Orte des Vorkommens der Spaltöffnungen geben manche auf dem Wasser schwimmende Blätter, wie z. B. die der Nymphaeaceen, welche auf der oberen, mit der atmosphärischen Luft in Berührung stehenden Blattseite reichlich Spaltöffnungen besitzen, auf der unteren an das Wasser grenzenden Seite beinahe frei davon sind, während bei Luftpflanzen die untere Seite der Blätter in der Regel reicher an Spaltöffnungen ist, als die obere. Die grünen völlig untergetauchten Wasserpflanzen enthalten nur ausnahmsweise Spaltöffnungen.

**) Diese lufterfüllten Intercellularräume sollen den lebenden grünen Blättern das matt-

Man kann diesen Sachverhalt, ohne näher auf die anatomischen Details einzugehen, durch einige Versuche leicht demonstriren. Man befestigt ein unverletztes abgeschnittenes Blatt mit dem Stengel luftdicht in die Oeffnung des Recipienten einer Luftpumpe und zwar so, dass der Stengel in ein auf dem Teller der Luftpumpe stehendes Glas mit Wasser eintaucht, das Blatt selbst in die äussere Luft ragt. Beim Auspumpen entwickelt sich rasch ein continuirlicher Blasenstrom aus der Schnittfläche des Blattstiels, und indem man das Blatt äusserlich in eine Atmosphäre von Kohlensäure taucht, und dem Wasser im Recipienten Kalkwasser zusetzt, lässt sich auch durch die bedeutende Trübung, *) die der Blasenstrom veranlasst, beweisen, dass das Gas wirklich durch das ganze Blatt hindurchgesaugt worden ist. **)





Figur 3.

A. Spaltöffnung eines chlorophyllführenden Organs im Querschnitt (schematische Darstellung).

a. Spaltöffnung geöffnet.
b. Athemhöhle.
cc. Schliesszellen.
dd. Intercellularräume.
ee. Chlorophyllhaltige Zellen.

B_1, B_2 Stücke mit Spaltöffnungen besetzter Oberhäute chlorophyllhaltigen Organe. B_1 von Iris pumila, B_2 von Orchis latifolia. — Die Spaltöffnungen a offen, b geschlossen

grüne Ansehen (durch häufige Reflexion der einfallenden Strahlen an den Grenzflächen zwischen Luft und Zellsubstanz) geben; und in der That kann diese matte Färbung durch Verbringen eines Blattes in Wasser und nachheriges Evacuiren und ebenso durch Kochen der Blätter in Wasser — ich erinnere an die Farbe der gekochten grünen Gemüse —, durch welche Mittel die Luft der Intercellularräume durch wässrige Flüssigkeit ersetzt wird, in die sogenannte „lackfarbene" übergehen. Es ist diese Vorstellung offenbar der freilich nicht ganz analogen Erscheinung beim Blute, das an der Stelle der matten Deckfarbe durch Ueberführen des Farbstoffs in das Serum (durch Gefrierenlassen) die tief satte Lackfarbe annimmt, nachgebildet.

*) Ganz vorwurfsfrei ist freilich diese Versuchsanstellung nicht, da die Gase des Blattinnern Kohlensäure-reich sein werden; doch lässt sich der mögliche Einwurf durch vergleichende Versuche beseitigen.

**) Vergl. J. Sachs: Handb. d. Exper. Physik d. Pfl. p. 216 u. ff.

Durch diesen einfachen Versuch ist die Communication der Spaltöffnungen mit den luftführenden Gefässen des Stengels durch die Intercellularräume hindurch bewiesen, da zu dem raschen Durchpressen der Luft durch die Zellen selbst, also durch eine ganze Reihe von gegen einen einfachen Drucküberschuss äusserst resistenten Membranen, wie sie die Zellhäute darstellen, ohne alle Widerrede eine viel bedeutendere Kraft erforderlich wäre. In der That gelingt der Versuch bei der Umkehrung der ganzen Anordnung, wo also die Blattoberfläche in dem Recipienten unter Wasser taucht, der Blattstiel mit der äusseren Atmosphäre in Berührung ist, nicht ohne Weiteres, weil im Wasser die Spaltöffnungen durch eine eigenthümliche Vorrichtung sich schliessen oder auch mit kapillar festgehaltenem Wasser sich verstopfen.*) Durch dies Nichtgelingen ist aber jedenfalls gezeigt, dass man nicht einfach einen Luftstrom durch die Zellschichten treiben kann, sondern dass hierzu ein eigenthümlicher Weg, dessen eines Ende die Spaltöffnungen sind, eingeschlagen werden muss.

Sehen wir nun zu, was die so demonstrirte Vorrichtung, welche sich in ihrer grössten Vollkommenheit nur in chlorophyllhaltigen Organen ausgebildet findet, der Pflanze für einen Nutzen bringen kann. — Jede Zelle des Blattparenchyms steht in Berührung mit den Intercellularräumen und ist so umspült von einer innern Atmosphäre, welche durch die Spaltöffnungen hindurch mit der äussern Atmosphäre, aus der die chlorophyllhaltigen Zellen ihre Kohlensäure zu beziehen angewiesen sind, in continuirlichem Zusammenhange steht. Nun ist zwar der Pfad eng, auf dem die Gase der äusseren Atmosphäre in diese Intercellularräume und an die einzelnen Zellen gelangen können; allein wir müssen uns vorstellen, dass einerseits Diffusionsströme, welche durch den fortwährenden Kohlensäureconsum und die damit verbundene Sauerstoffausgabe angeregt und unterhalten werden, dass andererseits fortwährende Druckdifferenzen, herbeigeführt durch die in den oberirdischen Pflanzenorganen fort und fort erfolgenden Temperaturveränderungen, auch in jenen engen Kanälen einen lebhaften Gasaustausch unterhalten.

Vorzüglich wird die Kohlensäureaufnahme unterstützt durch die ausserordentlich *hohe Diffusionsgeschwindigkeit,* die diesem Gase *für die Verhältnisse, wie sie in der Pflanze herrschen*, zukommt. Dies gilt einmal für die Aufnahme der Kohlensäure durch eine einzelne Pflanzenzelle, wenn sie nicht schon mit diesem Gase übersättigt ist, da die Zellmembran stets Wassermolekule in sich eingelagert enthält und so der in Wasser leicht löslichen Kohlensäure ganz vorzugsweise rasch den Durchgang gestattet.

Ganz besonders gilt diese Bevorzugung des Diffusionsstroms der Kohlensäure auch für den Durchgang durch das System von Hohlräumen des ganzen Blattorgans von der Blattoberfläche in die lufthaltigen Gefässe des Stengels, wie ganz neue Versuche von N. J. C. Müller**) lehren. Diese Versuche wurden mit den unverletzten Blättern einiger grossblättriger Pflanzen auf die Weise angestellt, dass man

*) Vergl. ebenda p. 251.

**) Diese Versuche werden demnächst in Pringsheim: Jahrb. etc. in einer grösseren Arbeit über die Spaltöffnungen beschrieben werden. Ich verdanke die Bekanntschaft mit ihren Resultaten der gütigen Privatmittheilung des Versuchanstellers.

mit Hülfe eines sehr sinnreich construirten, aber hier nicht näher zu beschreibenden Apparats, verschiedene für die Pflanze unschädliche Gase unter etwas erhöhtem Druck durch den Blattstengel zuleitete und die Zeit bestimmte, die bis zur völligen Ausgleichung des Drucks, die nur durch das Blatt hindurch stattfinden konnte, verlief. Da durch die Versuchsanstellung die Frage nach der Funktion der Spaltöffnungen bearbeitet werden sollte, so wurden bei derselben theils diese Oeffnungen durch elektrische Reize geschlossen (was vermittelst der sehr reizbaren Schliesszellen geschieht), theils in ihrem gewöhnlichen Zustande belassen. In beiden Fällen nun, ob der Diffusionsstrom der Gase vorzugsweise durch die kapillaren Hohlräume zwischen den Zellen hindurch, oder vorzugsweise durch Zellen und Zellmembranen *) selbst ging, zeigte die Kohlensäure immer die bedeutendste Geschwindigkeit, während die Reihenfolge der sonst gewählten Gase Wasserstoff und atmosphärische Luft in Bezug auf ihre relativen Geschwindigkeiten dadurch abgeändert ward.

Die Resultate dieser schönen Versuche, so viel Mühe ihre richtige Deutung auch noch kosten mag, lehren für unsere Zwecke klar genug, dass die Bedingungen der Diffusion der Kohlensäure in unsern chlorophyllhaltigen Organen denen der Diffusion der andern atmosphärischen Gase gegenüber ganz besonders günstige sind, und dass hierdurch grossentheils die auf den ersten Blick so ungünstig erscheinenden Verhältnisse der Kohlensäurezufuhr ausgeglichen werden. Es ist allerdings in der atmosphärischen Luft durchschnittlich nur $^1/_2$ Promille Kohlensäure vorhanden, und der Weg dieses schon so sehr verdünnten Nährgases bis zu den tiefer liegenden chlorophyllhaltigen Zellen der dickeren Blattorgane ist ein weiter und beschwerlicher; allein diese Missstände werden ausgeglichen durch die Schnelligkeit, mit der die Kohlensäure in das Blattgewebe und die Zellen eindringt, und mit der die verbrauchten und durch Sauerstoff ersetzten Antheile wieder von Aussen aus dem unerschöpflichen Reservoir ersetzt werden.

Auf demselben Weg nun, auf dem die Kohlensäure in die chlorophyllhaltigen Zellen gelangt, wird der Sauerstoff, der bei der Verarbeitung jener erzeugt wird, aus diesen abgeschieden. Für diesen Vorgang, wie überhaupt für die Vorgänge der Gasausgabe kommen specifische Diffusionsgeschwindigkeiten weniger in Betracht; — die Zelle, die mit Sauerstoffgas übersättigt ist und an ein Gasgemisch grenzt, das verhältnissmässig sauerstoffarm ist, wird eben an dieses seinen Ueberschuss abtreten, und von der Diffusionsgrösse wird nur der Druck abhängen, bis zu dem eine Zelle sich mit dem abzuscheidenden Gase sättigt.

Etwas abweichend sind nun die Verhältnisse des in Rede stehenden Austauschs von Kohlensäure und Sauerstoff für *grüne unter Wasser lebende Gewächse.* Die Kohlensäureaufnahme kann bei diesen natürlich nur in Wasser gelöst, auf dem Weg der Flüssigkeitsdiffusion oder Osmose vor sich gehen, wobei der grosse Absorptionscoefficient dieses Gases **) für Wasser sehr in Betracht kommt. Der Sauerstoff wird

*) Aus diesem Verhalten kann wohl geschlossen werden, dass die äussere cuticularisirte Epidermis, die auch wegen ihres Wachsgehalts äusserlich nicht benetzbar ist, doch etwas permeabel für Gase ist.

**) Vergl. hierüber Bunsen: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 93 p. 49. Dieser hohe Absorptionscoefficient der Kohlensäure veranlasst es, dass die im Wasser gelösten atmosphä-

indessen, bei seiner geringeren Diffusionsgeschwindigkeit durch die benetzte Zellhaut und viel geringeren Löslichkeit in Wasser, bei intensiver Produktionsarbeit nicht auf diesem Wege abgeschieden, sondern unter Ueberwindung des erheblichen Gasfiltrationswiderstandes in Gasform abgeschieden, *) sei es nun, dass er wie bei den einfachst gebauten Algen aus jeder einzelnen Zelle direkt in's umgebende Wasser ausgestossen wird, sei es, dass wie bei den höhern untergetauchten Wasserpflanzen, das Gas zunächst in die innern Hohlräume der Pflanze tritt, bis es dort, nach Erlangung eines sehr bedeutenden Drucks **) durch eine zufällige Verletzung in einem grossen Blasenstrom entweicht.

Neben diesem Gasaustausch, wie er zum Zustandekommen des Reduktionsprocesses in der chlorophyllhaltigen Zelle unerlässlich ist, kommt dann der viel allgemeiner verbreitete, obwohl durchschnittlich mit sehr viel geringerer Intensität sich vollziehende umgekehrte *Gasaustausch der Sauerstoffaufnahme* und *Kohlensäureabgabe* in Betracht.

Es sind nun zwei sehr handgreifliche Gründe vorhanden, die besondere Vorrichtungen zur Begünstigung dieses Gasaustauschs entbehrlich erscheinen lassen: einmal die sehr viel geringere Intensität, mit der sich der Process der Oxydation jenem Reduktionsprocess gegenüber vollzieht, und dann die ausserordentliche Begünstigung eines derartigen Vorgangs durch die Zusammensetzung der Atmosphäre. Diese letztere enthält ungefähr 20 % Sauerstoff und nur $^1/_{20}$ % Kohlensäure, also beiläufig die 400 fache Menge des zur Athmung unentbehrlichen Gases. Dieses Verhalten macht es möglich, dass auch ohne besondere Bevortheilung der Sauerstoffaufnahme an allen Orten der Pflanzen, auch tief im Innern ihres Gewebes genügende Mengen dieses unentbehrlichen Gases vorhanden sind.

Es kann hier ferner hervorgehoben werden, dass die Aufnahme desselben trotzdem noch erleichtert wird durch die Spaltöffnungen, welche wir in geringerer Anzahl auch auf der Epidermis vieler chlorophyllloser Organe antreffen, ferner durch den dem Stickstoff gegenüber ziemlich hohen Absorptionscoefficienten im Wasser, der jenem vor diesem ohne Zweifel einen erheblichen Vorsprung in der Diffusion durch Pflanzenmembranen ertheilt. Es ist weiter darauf aufmerksam zu machen, dass in den chlorophyllhaltigen Organen selbst die Athmung noch durch die dort im Lichte erfolgende Sauerstoffabscheidung wesentlich begünstigt wird, wie denn überhaupt beide einander entgegengesetzten Processe sich nothwendig gegenseitig unter die Arme greifen müssen, und die durch die Athmung producirte Kohlensäure, soweit sie in den chlorophyllhaltigen Organen Entstehung nimmt, oder in diese durch die luft-

rischen Gase, da wo die Sättigung unter gewöhnlichen Verhältnissen stattgefunden hat, durch ihren der Zusammensetzung der Atmosphäre gegenüber ausserordentlich grossen Kohlensäuregehalt das Pflanzenleben vorzugsweise begünstigen. Am Meisten tritt in diesem Gasgemisch der Stickstoff zurück, der in der Atmosphäre nur die Rolle eines Verdauungsmittels spielt. — Die Bedeutung dieses Verhaltens ist leicht erkenntlich.

*) Genau so verhalten sich auch Luftpflanzen, wenn man sie bei intensiver Beleuchtung unter Kohlensäure-haltiges Wasser bringt, wie wir früher gesehen haben.

**) Den die Kohlensäure wegen ihrer leichteren Diffundirbarkeit durch das Pflanzengewebe niemals würde veranlassen können.

führenden Gefässe durch Diffusion und Druckwechsel gelangen kann, dem Process der Reduktion in die Hände arbeiten wird.

Die Wasserpflanzen sind in Bezug auf den zur Athmung nothwendigen Gasaustausch etwas übler daran; doch ist daran zu erinnern, dass ja eine grosse Anzahl von Thieren, wie z. B. alle Fische, die doch einen sehr viel intensiveren Athmungsprocess unterhalten, auf den im Wasser aufgelösten Sauerstoff angewiesen sind. Vielleicht versehen auch die im Sonnenschein mit sauerstoffreicher Luft sich füllenden grösseren Luftbehälter im Innern vieler höhern Wasserpflanzen ausser einigen andern Diensten, die sie diesen Organismen leisten, den einer innern eine lebhafte Athmung unterstützenden Atmosphäre. Die bei der Athmung solcher Wasserpflanzen entstehende Kohlensäure entweicht natürlich durch Diffusion mit grosser Raschheit in das umgebende Wasser, sowie eine Uebersättigung des athmenden Zellinhalts eingetreten ist.

Ueber die Aufnahme des kohlensauren Ammoniaks in Gasform ist hier wenig zu sagen. Die Pflanzen, für die man bis jetzt eine hervorragende Befähigung für diese Art der Aufnahme eines Theils ihres Stickstoffbedarf nachgewiesen oder angenommen hat, die Legumimosen zeichnen sich, soweit man weiss, nicht etwa durch eine eigenthümliche Vorrichtung, die eine solche Aufnahme entschieden erleichtern müsste, aus; und so muss dieser Gegenstand *) hier als ein noch zu unvollständig bearbeiteter geradezu übergangen werden.

Von sehr grosser Bedeutung für alle Luftpflanzen ist die Abgabe von Wasser in Gasform durch die oberirdischen Organe, die sogenannte *Transpiration.* **) Diese Erscheinung lässt sich zunächst vom Standpunkt des Stoffwechsels, wie wir ihn bisher betrachtet haben, nicht verstehen. Wir wissen, dass bei der Produktion von organischer Substanz neben Kohlensäure das Wasser als nothwendiger Nährstoff durchaus nicht entbehrt werden kann; wir wissen in gleicher Weise, dass bei den Oxydationserscheinungen Wasser umgekehrt entsteht; und da jener erstere Process in der höheren chlorophyllhaltigen Pflanze stets in überwiegendem Masse vollzogen wird, so ist das Stattfinden einer continuirlichen Ausscheidung einer sehr bedeutenden Menge von Wasser, wie sie in der Luft-Pflanze unausgesetzt vor sich geht, aus diesen Gesichtspunkten unerklärlich.

Es konnte nun schon aus vielen Punkten unserer bisherigen Darstellung erschlossen werden, dass im pflanzlichen Organismus, wie in allen andern, das Wasser nicht blos, wie wesentlich die Kohlensäure, die Rolle eines Anfangs- und End-Gliedes des Stoffwechsels spielt, sondern dass ihm daselbst auch noch ganz andere Funktionen obliegen, die sich nicht unter jene Begriffe unterordnen lassen. Das Wasser ist in der That der Vermittler aller Lebensvorgänge in der Pflanze, wie sie

---

*) Ich habe schon früher p. 170 darauf hingewiesen, dass Sachs jenen von ihm selbst seiner Zeit angestellten Versuch, der die Assimilation atmosphärischen kohlensauren Ammoniakgases zu beweisen schien, nicht mehr als lebenskräftig anzuerkennen scheint, indem er in seinen Werken diese eigenthümliche und für die praktische Landwirthschaft hoch bedeutsame Stickstoffassimilation mit Stillschweigen übergeht.

**) Eine Darstellung der geschichtlichen Reihenfolge der hier einschlagenden Entdeckungen bei Heiden: Düngerlehre I. p. 171—75.

auch heissen mögen. Alle Pflanzentheile enthalten viele Procente von Wasser und gerade diejenigen, in denen lebhafte Vegetationsvorgänge sich abwickeln, sind immer reich daran. Verhältnissmässig wasserarm sind nur einzelne der Neubildung unfähige Gewebe wie das Holz, sehr wasserarm nur Organe, in denen zur Zeit vollkommene Ruhe von den Geschäften des Lebens herrscht, wie die Samen.

Das Wasser ist in sehr grossen Mengen ein constituirender Bestandtheil einer jeden Zellhaut, in die seine Molekule eingelagert sind, des Protoplasma u. s. f. Das Wasser ist ferner das allgemeine Lösungs- und Transport-Mittel für von der Pflanze gebildete Substanzen, die der Wanderung unterliegen, und für neu aufzunehmende Bestandtheile. Diese letztere Funktion werden wir sehr bald bei Betrachtung der Vorgänge der Osmose in ihrer Anwendung auf die Stoffaufnahme noch näher kennen lernen.

Diese Bedeutung des Wassers für das Pflanzenleben (wie für die Existenz eines jeglichen Organismus) ist in der That, *in Bezug auf Quantität,* seine Bedeutung als Rohstoff zur Produktion von organischer Substanz so um das Vielfache überragend, dass jene geradezu als verschwindend dagegen erscheint.

Die grossen Mengen von Wasser, die der Pflanze nun*) zu den eben dargelegten Zwecken unentbehrlich sind, bleiben bei den Luftpflanzen dem Individuum nicht von Anfang bis zu Ende seiner Vegetation erhalten, sondern bei diesen Organismen durchströmt ein mächtiger Wasserstrom die Pflanze, in die Wurzeln in flüssiger Form eindringend, der Schwerkraft entgegen aufsteigend und aus den ober-

*) Durchschnittlicher Wassergehalt verschiedener Pflanzentheile.

Pflanze	Theil	Wassergehalt	Quelle
Kartoffeln	Knollen	76,0 %	Berechnung nach vielen Analysen. Vergl. Heiden: Düngerlehre I. p. 167.
	Kraut	85,1 %	
Turnips	Wurzel	91,0 %	
	Blätter	88,5 %	
Runkelrüben	Wurzel	88,2 %	
	Blätter	90,8 %	
Zuckerrüben	Wurzel	81,9 %	
	Blätter	89,7 %	
Tabak	Blätter	87,1 %	
	Stengel	85,8 %	
	Wurzel	84,1 %	
Lindenblätter		55,0 %	Angaben von Ziureck. (Technolog. Tab. 1863).
Eichenblätter		57,4 %	
Tannenholz		37 %	
Eichenholz		35 %	
Weidenholz		60 %	
Bohnen		7,9 %	
Linsen		9,0 %	
Buchweizen		12,5 %	
Neuer Mais		18,0 %	
Hafer		14,0 %	
Reis		13,4 %	
Verschiedene Schwämme		87—96 %	Schlossberger u. Döpping: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 52 p. 106.

irdischen Organen in Dampfform entweichend. Gegen diesen mächtigen Strom erscheinen der Verbrauch an Wasser bei der Produktion von organischer Substanz und dessen Wiedererzeugung durch Verbrennung dieser Substanz in der Pflanze nur als kleine Abzugsgräben oder zufliessende Bächlein, deren Wirkung geradezu als nicht bestehend angesehen werden darf.

Es wird eine Aufgabe sein, die erst bei näherer Betrachtung der osmotischen Erscheinungen in der Pflanze gelöst werden kann, diesen Wasserstrom, der unausgesetzt die Luftpflanze durchströmt, zu erklären. Hier haben wir es nur mit der Verdunstung zu schaffen, die allerdings jenen Strom wesentlich mit bedingt. Die Verdunstung findet hauptsächlich an den krautartigen Theilen der oberirdischen Pflanze statt. an den Laubblättern und den andern jungen Organen. Die älteren Theile des Stamms und der Zweige sind regelmässig von dichten korkartigen Gewebeschichten *) umkleidet, die eine Wasserverdunstung ausserordentlich erschweren. In erster Linie sind es die grünen, reichlich mit Spaltöffnungen versehenen Laubblätter, die auch für die Verdunstung die günstigsten Bedingungen in sich vereinigen.

Die Ursachen der Vergasung des Wassers zunächst aus direkt mit der Atmosphäre in Berührung stehenden Zellen liegen nun auf der Hand. Die Atmosphäre stellt ein Gasgemisch dar, das trotz der fortwährend in sie hinein stattfindenden Verdunstung in den wenigsten Fällen mit Wasserdampf gesättigt ist, einfach desshalb, weil regelmässige Niederschläge erfolgen und durch die vielfachen Bewegungserscheinungen im Luftmeer und dessen Erwärmung wieder reiche Gelegenheit für mit Wasserdampf gesättigte Luftmassen gegeben ist, sich durch Mischung mit trocknern atmosphärischen Gasen von Neuem wieder aufnahmsfähig für Wasser zu machen.

Die an die Atmosphäre grenzenden Pflanzenzellen erleiden in Folge deren beinahe unter allen Umständen ungesättigten Dampftension Wasserverluste, gerade wie ein offen an der Luft stehendes Glas mit Wasser. Die mit Wasser durchtränkte Zellhaut vermittelt diese Wasserabgabe, indem sie ihre eignen Verluste, vermöge der ihr eigenthümlichen Anziehungskraft für Wasser grossentheils aus dem Wasser des Zellinhalts ersetzt. — Schon aus diesem Umstande können wir schliessen, dass bei dieser Verdunstung eine Arbeit geleistet wird, indem zunächst die Anziehungskraft der Zellhaut für Wasser überwunden werden muss, die dann weiter wirkt. Ich mache hier schon auf diesen Umstand aufmerksam, weil sehr bald wichtige Schlüsse aus diesem Verhalten gezogen werden sollen.

Man kann nun allerdings in sofern nicht ganz streng behaupten, dass jene Tension die Transpiration allein veranlasse, da nachgewiesenermassen **) auch die Pflanzen in eine engbegrenzte und ganz mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre hinein verdunsten ***), so dass Wasser an den Wänden des Recipienten, in dem man

---

*) Die verkorkten Zellmembranen sind sehr wenig imbibitionsfähig und darum sehr schlechte Vermittler des Wasseraustauschs.

**) Vergl. Sachs: Handb. d. Experim. Phys. d. Pfl. p. 227.

***) Unger hat (vergl. Heiden: Düngerlehre I. p. 177) die Menge des verdunsteten Wassers bei zwei gleichartigen Pflanzen bestimmt, von denen die eine frei in der Luft sich befand, während bei der andern die Verdunstung durch Bedecken mit einer Glasglocke soweit verhindert ward, als sie sich durch Sättigung der Luft mit Wasserdampf verhindern

den Versuch anstellt, sich niederschlägt. Allein hier ist es vermuthlich die sehr geringe Wärmeproduktion in Folge der Athmung, welche in diesem ungünstigsten Falle die Transpiration noch ermöglicht. Dieselbe ist aber unter diesen Umständen sehr gering und nimmt erst bei abnehmender Feuchtigkeit der Luft erhebliche Werthe an, um bei grosser Trockenheit auch sehr gross zu werden.

Immerhin ergibt sich ein bemerkenswerther Unterschied in Betreff der Ausgabe der Zelle an Wassergas jener Ausgabe von Kohlensäure und Sauerstoff gegenüber, von der wir vorher gesprochen haben. Dort war immer die Neuerzeugung dieser Gase (durch Athmungserscheinungen oder jenen Process in der chlorophyllhaltigen Zelle) die nächste Veranlassung zur Störung des Gleichgewichts zwischen Pflanzenzelle und Atmosphäre und somit zu einem Diffusionsstrom. — Hier sehen wir eine andere, man kann sagen, *äussere* Ursache, die fortwährende Bewegung veranlassen, ein Gleichgewicht kann, so lange die Zelle lebt, nicht eintreten, denn diese ist während des Lebens nothwendig wasserreich, die Atmosphäre verhältnissmässig wasserarm und nicht mit Wasserdampf gesättigt, und so besteht zur Ausgleichung dieses Ungleichgewichts ein constanter Diffusionsstrom, dessen Wirkung nur dadurch für das Pflanzenleben unschädlich gemacht werden kann, dass die Pflanzenzelle von anderer Seite wieder das verlorene Wasser ersetzt. Desshalb spricht man auch wohl in Bezug auf diese Wasserverdunstung bei Luftpflanzen *) von einer Transpirationskraft, weil man es hier gleichsam mit einer äusseren Kraft zu thun hat, die den Anstoss gibt zu einer Reihe von Arbeitsleistungen, deren Bedeutung wir bald kennen lernen werden.

Wir haben vorhin gesagt, dass vorzüglich die krautartigen Theile der Luftpflanze und ganz besonders die am reichlichsten mit Spaltöffnungen versehenen Laubblätter der Sitz der lebhaftesten Gasdiffusionserscheinungen sind. Es ist klar, dass auch dieselbe Einrichtung der mit den Spaltöffnungen einerseits mit den luftführenden Gefässen andererseits in Verbindung stehenden intercellularen Räume die Verdampfung des Wassers wesentlich begünstigen muss, weil diese Einrichtung gerade wie die thierische Lunge gestattet, eine verhältnissmässig viel grössere Menge Luft mit den verdunstenden Gewebeelementen in Berührung zu bringen. Auch hier werden die Diffusionserscheinungen dieses intercellularen Kanalsystems, ebenso wie die durch Druckwechsel und dergleichen veranlassten Strömungen in demselben es bewirken, dass in diesen Räumen niemals ein völlig dampfgesättigtes Gasgemisch sich findet, und so wird diese Einrichtung auch für die Transpirationserscheinungen sich wie eine Vergrösserung der zum Gasaustausch befähigten pflanzlichen Oberfläche verhalten. **) ***)

---

lässt. Das Verhältniss der transpirirten Wassermengen ergab sich auf die Flächeneinheit des Blatts berechnet, gleich 10,4 : 1, ist aber natürlich von der Trockenheit etc. der bei dem einen Versuch mitwirkenden Atmosphäre abhängig.

*) Eine geringe Verdunstung müsste strenge auch für alle untergetauchte Wasserpflanzen angenommen werden, die grössere Luftreservoire und in diesen eine innere Atmosphäre besitzen, die von Zeit zu Zeit sich erneuert; doch ist natürlich die Transpiration unter diesen Verhältnissen nicht der Rede werth.

**) Aus derselben Ursache unterhält auch stark befeuchtete Erde eine stärkere Verdunstung als eine offene Wasserfläche.

***) Man hat die Transpirationsgrössen der beiden Seiten eines Blattes, die sehr

Dieselben Theile der Pflanze, die unfähig sind zu einem lebhaften Austausch von Kohlensäure und Sauerstoffgas, zeigen sich auch den Verdunstungserscheinungen sehr wenig zugänglich. Es sind dies alle stark cuticularisirte Gebilde und besonders die mit einer dickeren Korkschicht umkleideten älteren (mehrjährigen) Theile des Stamms und der Aeste. Diejenigen Veränderungen der Zellhaut, die wir als Cuticularisirung und Verkorkung derselben bezeichnen, machen dieselbe, wie wir früher schon hervorgehoben haben, zu einer Membran von geringer Imbibitionsfähigkeit und wohl darum auch unfähig, einen lebhaften Gaswechsel durch sich hindurch bestehen zu lassen. So kann die Rinde des Stamms und der älteren Aeste, namentlich der perennirenden Gewächse als ein beinahe hermetischer Verschluss gegen Gase *) und besonders gegen Wasser **) angesehen werden, — ein Verhalten, das sich bei der Durchströmung der Luftpflanzen von Wasser in hohem Grade geltend macht.

Bei verschiedenen Pflanzen mit ungleich ausgebildeten oberirdischen Organen, mit Blättern von verschiedener äusserer Gestaltung und verschiedenem Reichthum an Spaltöffnungen, mit ungleich stark cuticularisirten und zur Verdunstung geeigneten Oberhäuten etc. findet nun auch selbstredend bei völlig gleichmässigen äusseren Verhältnissen (relativer Trockenheit) eine sehr verschieden starke Transpiration statt. In diesen Unterschieden der Beschaffenheit der betreffenden Pflanzentheile, die sie der Transpiration mehr oder minder zugänglich machen, ist nun häufig ein *Correctiv gegen die ungleichen äusseren Verhältnisse,* welche an einem Ort weit mehr zur Verdunstung disponiren, als am andern, die ferner bei Pflanzen in verschiedenen Klimaten eine zu starke Verdunstung in sehr verschiedenem Grade gefährlich für ihr Fortbestehen erscheinen lassen, zu erkennen. Ich will hier nur ein sehr auffälliges Beispiel ***) dieser Art erwähnen, dass z. B. die Wüstenpflanzen, wie namentlich die Cactusarten, die auf einem sehr trocknen Boden wachsen und über sich eine glühend heisse ausserordentlich wasserarme Atmosphäre haben, gegen die Verdunstung auf alle mögliche Art durch eine stark cuticularisirte Epidermis, Armuth an Spaltöffnungen und dergleichen geschützt sind. Im andern Fall wäre die Existenz solcher Pflanzen überhaupt nicht denkbar und durchaus unfasslich, wie die halbverschmachteten Karawanen in der Wüste auf Pflanzen stossen könnten, die durch ihren frischen Saft Mensch und Thier erquicken.

Dass ausserdem die Verdunstungsgrösse bei einer Pflanze wesentlich abhängen muss von den Anziehungskräften der im Zellsaft gelösten Körper, von deren substanzieller Beschaffenheit und deren Menge, also der Concentration des Zellsafts ist

---

ungleich reich an Spaltöffnungen sind, mit einander verglichen und so die innige Beziehung iener Grösse zu dem Vorhandensein dieser Oeffnungen festgestellt. Vergl. Rochleder: Chem. u. Phys. d. Pfl. 1858 p. 103.

*) Korkstöpsel auf Flaschen mit kohlensaurem Wasser demonstriren die gleiche Thatsache

**) Ich erinnere an manche Inprägnirungsmethoden der berindeten Stämme, die sich auf dies Verhalten gründen.

***) Hierin gehört auch die schon von Hales gemachte Beobachtung, dass immergrüne Gewächse mit ihren lederartigen Blättern weniger Wasser verdunsten, als Pflanzen mit zärteren Sommerblättern. Hales: Statik der Gewächse. Halle 1748 p. 58. — Vergleiche auch Pfitzer: Botan. Zeitung 1869 p. 526.

einleuchtend. Wir werden sogar später bei der zusammenhängenden Darstellung der Rolle, die das Wasser in der Pflanze spielt, uns mit der interessanten Thatsache bekannt zu machen haben, dass man durch Zuführung von Salzen *) in die Pflanze die Transpiration wesentlich herabdrücken kann, — ein Verhalten, das aus dem eben gegebenen Gesichtspunkte leicht zu deuten ist. Etwas über die Verdunstungsgrösse der verschiedenen Pflanzen hier anzuführen, hat keinen Zweck. **)

Man kann sich nun offenbar die Frage stellen, ob dieser Abgabe von Wassergas aus dem pflanzlichen Organismus auch unter Umständen eine Aufnahme in dieser Form entspricht. Wir wollen uns zunächst überlegen, was sich aus den bisher in's Auge gefassten Verhältnissen in dieser Richtung folgern lässt. Es ist ersichtlich, dass wenn wir uns eine Pflanzenzelle vom Wasserzufluss in flüssiger Form abgeschnitten denken, ein *Gleichgewichtszustand* zwischen der Zelle und der Atmosphäre in Bezug auf ihren beiderseitigen Wassergehalt nothwendig eintreten muss. Dieser Gleichgewichtszustand wird bedingt sein von den wasseranziehenden Kräften der Pflanzenzelle einerseits von dem Feuchtigkeitszustand und der Temperatur der Atmosphäre, (wovon das Bestreben des flüssigen Wassers, Gasgestalt anzunehmen, abhängig ist) andererseits und ausserdem noch von der Wärmemenge, die durch chemische Umsetzungen in der Zelle erzeugt wird. Es lässt sich nun mit Bestimmtheit voraussagen, dass nach Eintritt eines solchen Gleichgewichtszustands bei einer solchen von der anderweitigen Wasserzufuhr abgeschnittenen Zelle, diese letztere zur Condensation von gasförmigem Wasser und Ueberführung desselben in ihre Zellhaut und mittelbar in ihr Inneres schreiten wird, sobald jener Gleichgewichtszustand z. B. durch ein Feuchterwerden der Atmosphäre geändert wird, gerade wie umgekehrt durch Trocknerwerden derselben die Transpiration Fortschritte machen wird. ***)

Wenn wir uns aber nach den in der Wirklichkeit herrschenden Umständen umsehen, unter denen eine solche Wasserassimilation thatsächlich wird realisirt

*) Von besonderem Interesse ist in dieser Hinsicht das Studium der Columne B Tabelle III (Versuchsst. 1864 p. 225), wo die Zeit angegeben ist, welche gleiche Wassermengen, die aus verschieden concentrirten Salzlösungen aufgenommen werden mussten, brauchten, um durch gleichgrosse Luftpflanzen hindurch zu verdunsten.

Vergl. über diesen Gegenstand noch besonders die interessanten Angaben von Sachs (Landw. Versuchsst. 1859 p. 203).

**) Es ist hier noch auf einen weiteren Punkt aufmerksam zu machen, auf den wir im Text nicht näher eingehen können. Es ist nemlich nach N. J. C. Müller (vergleiche Verhandlungen des naturhistorischen medizinischen Vereins zu Heidelberg B. V. p. 63) das Oeffnen oder Schliessen der Spaltöffnungen und somit die Transpirationsgrösse eines mit Spaltöffnungen besetzten Organs abhängig von der Turgescenz der Schliesszellen, also, dass hierin ein Regulator für überhandnehmende Verdunstung zu erblicken ist, wie auch die zunehmende Concentration des Zellsaft als solcher wirkt. Schumacher hat gerade die umgekehrte Behauptung (vergleiche: Die Diffusion etc. 1861 p. 99) aufgestellt, indem er behauptete, dass die Schliesszellen durch Wasserfülle den Schluss der Spalte bewirkten, — eine Anschauung, die indessen schon durch die v. Mohl'schen Versuche (Bot. Zeitg. 1856 p. 697) als widerlegt zu betrachten war.

***) Freilich würde der Eintritt dieses Verhaltens bei den meisten Pflanzen einer sehr grossen Welkheit der betreffenden Organe entsprechen, vielleicht einer so grossen, dass das Leben dieser Organe gleichzeitig erlöschen würde.

werden können, so muss wohl zugegeben werden, dass *für unsere gewöhnlichen kultivirten Luftpflanzen* selbst bei sehr grosser Trockniss des Bodens und relativer Feuchtigkeit der Atmosphäre die Möglichkeit praktisch nicht besteht, auf diesem Wege durch Condensation von Wassergas sich Wasser anzueignen, da die mit der Atmosphäre in Berührung stehenden Zellen wohl in allen Fällen noch mit Aufwendung geringerer Kräfte flüssiges Wasser aus dem Pflanzengewebe, an das sie grenzen, und von diesem weiter aus dem Boden werden aufnehmen können; jedenfalls gilt dies, wenn man die äussersten Grenzfälle, die *praktisch* keine Bedeutung haben, ausser Acht lässt.

Wenn wir sehen, dass eine feuchte Atmosphäre eine verwelkte, nur verhältnissmässig geringe Mengen Wasser enthaltende Pflanze wieder in den Zustand der Saftfülle zurückzubringen vermag, so ist dies im Allgemeinen eben nicht einer Wasserzufuhr aus der Luft, sondern nur dem Schutze zuzuschreiben, der einer Pflanze unter solchen Umständen gegen weitere Transpiration gewährt wird, und der Möglichkeit, während dieser Zeit genügende Mengen flüssigen Wassers aufzusaugen, um wieder saftreich und turgescent zu werden.

Es gibt dagegen mit grosser Wahrscheinlichkeit eine Reihe von uns freilich ferner liegenden Pflanzen, bei denen die Aufnahme von Wasser aus der Atmosphäre durch Condensation vielleicht als eine erwiesene Thatsache und als ein regelrechter Ernährungsvorgang angesehen werden muss. Es lässt sich dies nun freilich nicht mit irgend zureichender Sicherheit oder auch nur mit Wahrscheinlichkeit von allen in den regenlosen Zonen lebenden Pflanzen behaupten, da in solchen Gegenden einmal der Thau eine grosse Rolle zu spielen scheint, und dann der Boden nachgewiesenermassen *) die Fähigkeit hat, erhebliche Mengen von Wasser aus der Atmosphäre durch seine hygroskopischen Eigenschaften niederzuschlagen und der Pflanzenwurzel in *flüssiger Form* zur Verfügung zu stellen. Ja das auf diese Weise der Pflanze zugeführte Wasser kann völlig genügend sein, um dieselbe in voller Saftfülle zu erhalten. **) Allein es kann jene Behauptung für viele flechtenartige Gewächse, die wir bei grosser und lang andauernder Trockenheit auf wasserfreien und nicht mit hygroskopischen Eigenschaften begabten Böden, wie auf nackten Felsen, ganz üppig gedeihen sehen, mit einigem Erfolge verfochten werden. Ferner müssen wohl diejenigen Pflanzen, die ganze lange Vegetationsperioden hindurch wie Ficus Australis ***) leben, ohne überhaupt in Berührung mit dem Boden oder mit flüssigem Wasser zu kommen, wenn sie dabei wachsen und ihr Volum vermehren, auch durch eine derartige Condensation ihr Wasser aufnehmen. †)

*) Vergl. J. Sachs: A. a. O.

**) Siehe übrigens die einunddreissigste Vorlesung.

***) Vergl. J. Liebig: Die organische Chemie etc. 1840. p. 181 u. ff., wo eine Mittheilung von William Magnab, ehemaligem Direktor des Pflanzengartens in Edinburg über die künstliche Kultur einer solchen Pflanze abgedruckt ist. Es ist in dieser Miltheilung allerdings vom Besprengen der in der Luft schwebenden Pflanze mit Wasser die Rede (p. 183), und es könnte also zweifelhaft erscheinen, ob eine solche Condensation bei derartigen Pflanzen möglich wäre. Allein aus der Lage solcher Gewächse in der Natur scheint hervorzugehen, dass gasförmiges Wasser Dasselbe zu leisten im Stande wäre.

†) Freilich hat man sich in Bezug auf alle derartige Gewächse bis der endgiltig entscheidende experimentelle Nachweis vorliegt, des Einwurfs zu gewärtigen, dass in Regen-

Hiermit wären die wichtigern Vegetationsvorgänge, bei denen ein Gasaustausch mit in's Spiel kommt, mit einer für unsern Zweck genügenden Ausführlichkeit behandelt. Wir verlassen nun diese Gasdiffusionserscheinungen, um uns mit den analogen Vorgängen bei der Aufnahme und Ausgabe von Flüssigkeiten, *mit den osmotischen Vorgängen, die bei der Pflanzenernährung eine Rolle spielen,* zu befassen.

Wir werden zuerst von dem einfachsten Falle osmotischer Stoffaufnahme reden, der sich bei Organismen, die ausschliesslich in einem wässrigen Medium leben, verwirklicht, um dann später gestützt auf die Resultate dieser Untersuchung den verwickelteren Fall der osmotischen Vorgänge, wie er sich bei den Luftpflanzen, die mit einem Theil ihres Körpers in ein wässriges Medium, mit dem grösseren Theil aber in die Luft ragen, darbietet.

Die osmotischen Erscheinungen an einer *einzelnen, von wässriger Flüssigkeit umgebenen Pflanzenzelle,* sei sie nun eine Pilzzelle oder eine chlorophyllführende Algenzelle, sind sehr leicht verständlich. Wir haben es hier in der Zellhaut mit einer Membran zu thun, die bei den Diffusionserscheinungen ihre eigenthümlichen Anziehungskräfte geltend macht und so verschiedenen Stoffen mit verschiedener Leichtigkeit Eingang verstattet. In ähnlicher Weise werden die spezifischen Anziehungskräfte der Zellflüssigkeiten wirken.

Allein diese Anziehungskräfte mögen sein, welche sie wollen, immer wird ein Gleichgewichtszustand in der Weise gedacht werden können, dass die Kräfte, die irgend eine Substanz in die Zelle hineinziehen, eben so gross sind, als die, welche ihn draussen festzuhalten suchen, dass, wie wir uns ausdrücken, der osmotische Gegendruck ein Maximum erreicht hat, und der osmotischen Zugkraft geradeauf Widerstand leistet. Bei diesem gedachten Gleichgewichtszustand sind nun natürlich die einzelnen Stoffe, je nachdem sie von Zellhaut und Zellinhalt mehr oder weniger angezogen werden, sehr ungleich vertheilt. Sogenannte Colloïdalsubstanzen, die von der Zellmembran nicht durchgelassen werden, werden sich an dem Ort ihrer ursprünglichen Lagerung innerhalb oder ausserhalb der Zelle vor und nach Herstellung des Gleichgewichts befinden. Sogenannte Krystalloïdalsubstanzen müssen bei Eintritt desselben sehr gleichmässig innerhalb und ausserhalb der Zelle sich vertheilt finden.

Wenn nun trotzdem in einer solchen Zelle, wie wir dies thatsächlich beobachten, kein Gleichgewicht eintritt, wenn wir fort und fort die osmotischen Erscheinungen sich abwickeln sehen, ohne dass eine Abstumpfung der sie erregenden Kräfte wahrzunehmen ist, so ist dies eben nur zu erklären durch das stetige Stattfinden eines *physiologisch chemischen Processes, der jenes Gleichgewicht immer von Neuem stört,* indem er immer wieder jene Kräfte von Neuem erzeugt oder anspannt. Mit andern Worten, die physiologischen Vorgänge in einer jeden Zelle sind stets mit Verbrauch und Neuerzeugung von chemischen Stoffen, die in der neuen Gestalt auch andere osmotische Kräfte geltend machen, verbunden. Die in der Zelle neugebildete Verbindung wird nach Aussen sich zu verbreiten suchen, die dort zerstörte Ver-

und Thau-armen Perioden nur das noch vorhandene Wasser kräftig zurückgehalten werde, und neue Mengen nur im flüssigen Zustande aufgenommen werden könnten.

bindung wird von Aussen wieder aufgenommen werden, weil in beiden Fällen nothwendig ein Ungleichgewicht eingetreten ist.

Dieser Gesichtspunkt ist festzuhalten bei Betrachtung des Stoffwechsels aller ausschliesslich in wässrigen Flüssigkeiten lebenden Organismen. Eine, die alkoholische Gährung erregende, Hefezelle kann nur, so lange sie den Zucker in sich zu andern Verbindungen verarbeitet, fort und fort diesen Zucker in sich aufnehmen und die neugebildeten Verbindungen, Kohlensäure und Alkohol immer zu ausscheiden, *) weil das osmotische Gleichgewicht durch jene chemische Thätigkeit in Einem fort gestört wird. Eine chlorophyllhaltige Algenzelle kann nur aus demselben Grunde immer wieder von Neuem befähigt werden, die im umgebenden Wasser gelöste Kohlensäure in sich aufzunehmen, weil in diesem Falle die Kohlensäure wegen ihrer chemischen Umwandlung an der Geltendmachung eines osmotischen Gegendrucks gänzlich gehindert wird. Man kann sogar offenbar, ohne zu Irrthümern Veranlassung zu geben, sich einer etwas unpräciseren Ausdrucksweise bedienen und sagen, dass die Orte der Consumtion irgend einer Substanz mit Hülfe der osmotischen Erscheinungen, wie Anziehungscentren, die der Produktion wie Abstossungscentren für die betreffenden Substanzen wirken.

Soweit es um die Aufnahme oder Ausscheidung gelöster organischer Stoffe, oder des Materials, aus dem diese Stoffe hervorgehen, sich handelt, sind die osmotischen Vorgänge, die jenen Umsatz bewirken, beinahe selbstverständlich. Nicht so unmittelbar scheinen die Vorgänge der Aufnahme von Aschenbestandtheilen durch einen ganz von wässrigen Medien umgebenen Organismus aus jenen Gesichtspunkten erklärt werden können.

Wenn man zunächst die Aschenzusammensetzung eines Sumpfgewächses mit der des umgebenden Sumpfes, eines Seetangs mit den Bestandtheilen des Seewassers vergleicht und eine ähnliche Zusammensetzung der feuerfesten Bestandtheile zu finden hofft, indem man auf einen osmotischen Ausgleich rechnet, so wird man sich völlig betrogen finden. — Ich erinnere nur an das bekannte, von Liebig **) zuerst gewählte Beispiel einer Sumpfpflanze, der Wasserlinse, deren Aschenbestandtheile vergleichungsweise mit denen des Sumpfwassers, in dem sie ihr Dasein fristete, analytisch bestimmt wurden. In der Asche der Wasserlinse war unter Anderem das Verhältniss des darin gefundenen Kochsalz zum Kali wie 10: 22, im umgebenden Wasser wie 10: 4; ebenso in der Pflanzenasche das Verhältniss der Schwefelsäure zur Phosphorsäure wie 10: 14, im Wasser von 10: 3. Phosphorsäure und Kali waren von der Pflanze in weit höherem Verhältniss aufgenommen worden, als Natron und Schwefelsäure. Noch viel erstaunlichere Unterschiede würden sich herausstellen, wollte man die Aschenbestandtheile für eine solche ringsum von Wasser umgebene Pflanze bezogen auf den Wassergehalt derselben berechnen, und damit die Aschenprocente (oder Promille) des Sumpfwassers vergleichen.

Weit merkwürdiger muss es aber für Jemanden, der die Stoffaufnahme aus dem

*) Vorausgesetzt, dass diese Vorgänge wirklich innerhalb der Hefezellen verlaufen, was von mancher Seite noch bezweifelt wird.

**) Vergl. Die Chemie etc. 1862. II. p. 55.

Gesichtspunkt der osmotischen Erscheinungen zu erklären unternimmt, sein, wenn er die qualitativen Unterschiede der Zusammensetzung des Meerwassers und der Aschen einiger in diesem gewachsenen Fucus- und anderer Pflanzen-Arten erfährt. Der Kaligehalt des Meerwassers ist kaum $^1/_{20}$ so gross wie der Natrongehalt desselben, dennoch treffen wir in vielen dieser Pflanzen weit mehr Kali als Natron an. — Jod und Mangan sind im Meerwasser in so geringen Mengen vorhanden, dass es kaum gelingt, diese Bestandtheile mit unsern schärfsten Methoden nachzuweisen; in vielen Meerespflanzen finden sie sich dagegen in verhältnissmässig grossen Mengen vor. *)

Nun ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch, wenn man vor der Hand nur die osmotischen Vorgänge zur Erklärung dieser Erscheinungen heranzieht, eine völlig gleichmässige Vertheilung solcher mineralischen Stoffe gar nicht zu erwarten steht. Spezifische Anziehungskräfte von in der Zelle enthaltenen Substanzen werden sich zweifellos geltend machen müssen, gleichzeitig die Durchdringbarkeit der Zellmembran für einzelne Stoffe, und so wird eine gewisse Anhäufung von Substanzen, mit denen im Organismus gar keine Veränderung vorgenommen wird, immerhin möglich sein. — Allein derartige Anziehungskräfte können unmöglich genügen, um eine so einseitige Vertheilung gewisser mineralischer Stoffe, wie sie die angeführten Analysen lehren, zu ermöglichen, und aus diesem Grunde ist man vielfach daran verzweifelt, die Erscheinungen der Stoffaufnahme auf osmotische Vorgänge zurückzuführen, und hat angefangen, von einem unerklärlichen „Wahlvermögen" der Pflanzen zu sprechen, und der Gebrauch dieses Wortes, mit dem man nur einen sehr dunkeln Begriff verband, hat ohne Zweifel viele Verwirrung in unsere Vorstellungen über die Stoffaufnahme gebracht.

Ganz anders gestaltet sich nun aber die Sachlage, wenn wir auch für solche Mineralstoffe die Möglichkeit, ja in sehr vielen Fällen die Nothwendigkeit bedenken, dass eine chemische Verarbeitung derselben innerhalb der Pflanzenzelle in der Weise eintritt, dass nun der eingetretene Stoff keinen osmotischen Gegendruck mehr geltend machen kann, eben weil er ein substanziell anderer geworden ist. Dann wird auch für die Aschenbestandtheile das vorhin für die Elemente der organischen Substanz geltend gemachte Princip, dass die Orte der chemischen Umwandlung irgend einer Verbindung wie Anziehungscentren für eine solche Verbindung wirken, **) Anwendung finden können. Wenn also der chemisch veränderte mineralische Körper seine osmotischen

*) Vergleiche die sechszehnte Vorlesung p. 267.

**) Eine derartige Verarbeitung der osmotisch durch die Membran gegangenen Substanzen wirkt ganz ähnlich wie ein constanter Wasserstrom in einem Dialysator. Wenn sich in einem solchen Apparate auf der einen Seite der Membran ein Gemisch von Krystalloïd- und Colloïd-Substanzen, auf deren anderer Seite reines Wasser befindet, so würden die ersteren Substanzen zwar durchgehen, aber nicht völlig, da sich bald ein osmotischer Gegendruck fühlbar macht, ersetze ich aber das begrenzte Quantum Wasser, durch eine stets sich erneuernde Menge, durch einen Wasserstrom, so kann ich aus jenem Gemisch die Substanzen von krystalloïdalen Eigenschaften bis auf die letzten Spuren entfernen. Tritt eine chemische Verarbeitung jenseits der Membran ein, so wird dort gleichsam die Flüssigkeit continuirlich erneuert.

Eigenschaften verloren hat, ein colloïdaler Körper geworden ist, so wird die Aschenanalyse, die uns keinen Aufschluss über die chemische Form des aufgefundenen Körpers gibt, eine scheinbar unbegrenzte Ansammlung eines Stoffes zeigen können, aber nur desshalb, weil die Ansammlung in Gestalt einer andern (mit abweichenden osmotischen Eigenschaften begabten) Verbindung als die Aufnahme geschehen ist.

Wir sehen z. B. die Wurzel einer Landpflanze, die sich in dieser Hinsicht in ganz ähnlichen Verhältnissen wie eine untergetauchte Wasserflpanze befindet, wenn sie mit der Pflanze aus einer Nährstofflösung, in der sie sich ausgebildet hatte, herausgenommen und in reines destillirtes Wasser gesetzt wird, eine Reihe von aufgenommenen feuerfesten Bestandtheilen in dieses Wasser, wenn auch in geringen Mengen, übergehen. *) Die Verhältnisse des osmotischen Apparats, den die Wurzel mit der sie umgebenden Flüssigkeit gebildet hat, sind plötzlich verändert, und es wird für solche Stoffe, für die ein osmotisches Gleichgewicht eingetreten war, nun ein starker osmotischer Gegendruck beginnen, der ihr Zurücktreten in das die Wurzel umgebende Medium, das destillirte Wasser veranlasst. Allein der Erfolg eines solchen Experiments lehrt, dass nur für eine Reihe von bereits aufgenommenen Mineralstoffen etwas Derartiges erfolgt, dass aber für andere und zwar gerade für die Stoffe, welche zu den wichtigsten pflanzlichen Funktionen in Beziehung stehen, ein absolutes Festhalten des einmal Aufgenommenen beobachtet wird. Das Letztere scheint z. B. regelmässig für Kali, Salpetersäure, Phosphorsäure stattzufinden, während Kalkverbindungen wieder, wenn auch in chemisch veränderter Form **) zurückzukehren im Stande sind.

Das Studium dieses Verhaltens wirft ein helles Licht auf die Gesetze der Stoffassimilation. Wir müssen uns denken, dass in all' den Fällen, wo ein osmotischer Gegendruck sich nicht fühlbar macht, wo es möglich ist, einen Organismus in die Bedingungen, welche für eine Stoffabgabe durch Osmose am Günstigsten sind, zu bringen, ohne dass eine Ausscheidung des vorher Aufgenommenen erfolgt, wo also seine osmotische Fähigkeit verloren gegangen ist, er in eine chemische Verbindung von colloïdalen Eigenschaften übergegangen, dass also mit anderen Worten der aufgenommene Stoff schon die Beute einer chemisch physiologischen Veränderung geworden ist.

So wird es denn auch völlig klar, warum gerade die für die Pflanze wichtigsten Stoffe von dieser mit so grosser Zähigkeit festgehalten werden. Es ist dies kein dunkles Wahlvermögen der Pflanze, keine unbegreiflich instinctive Begabung derselben, die diese Anhäufung gewisser feuerfesten Stoffe, deren die Pflanze gerade bedarf, bewirkt, und die Abgabe dieser Stoffe nach Aussen hin erschwert, sondern es sind ohne allen Zweifel derartige Verhältnisse, wie die geschilderten, wenn uns auch in vielen Fällen eine klare Einsicht in dieselben noch vor der Hand abgeht. Von einem solchen Wahlvermögen in jenem mystischen Sinne zu sprechen, heisst auf die Begreifbarkeit und darum auf die Erklärbarkeit der durch sie hervorgerufenen

---

*) Vergl. E. Wolff: Landw. Versuchsst. 1865 p. 211; und die einundzwanzigste Vorlesung.

**) Hier ist namentlich an die Aufnahme von salpetersaurem Kalk zu erinnern, wofür dann kohlensaurer Kalk durch die Wurzeln abgegeben wird.

Processe verzichten, heisst den alten glücklich beseitigten Begriff der Lebenskraft wieder hervorholen und das Wunder in der Naturwissenschaft proclamiren.

Halten wir das eben Gesagte fest, so erscheint es möglich, dass in nicht ferner Zeit gerade jener Mangel eines osmotischen Gegendrucks, der für irgend einen mineralischen Bestandtheil nach dessen Aufnahme so auffällig erscheint, als ein Kriterium dafür angesehen wird, dass er bereits eingetreten ist in die chemischen Umwandlungen *), die in der Pflanzenzelle vor sich gehen, und dabei seine krystalloïdale Beschaffenheit eingebüsst hat, die ihm den osmotischen Rücktritt durch die Zellhaut verstattet haben würde.

Es darf indessen nicht aus den Augen gelassen werden, dass die Möglichkeit einer solchen Umwandlung eines Mineralstoffs in eine andere chemische Form durch einen physiologischen Process noch nicht die Unentbehrlichkeit oder die hohe Bedeutung eines solchen Stoffs für die Pflanze nothwendig beweist. Ein solcher Schluss würde jedenfalls voreilig sein, da ja manche Lebensvorgänge, manche ganz regelmässig verlaufende chemische Processe, denkbar sind, die auch unterbleiben können, ohne für die Pflanze Nachtheile mit sich zu bringen. So ist der Bedarf jener Seegewächse nach Jod und Mangan durchaus nicht aus ihrem Verhalten gegen jene Stoffe mit Sicherheit abzuleiten; und man kann mit Recht eine strenge Beweisführung desselben auf einem andern Wege fordern, wenn man die Unentbehrlichkeit dieser auch für sehr wahrscheinlich halten mag.

Unsere nächste Aufgabe wird nun die sein, die complicirteren osmotischen Vorgänge und Diffusionserscheinungen bei den Gewächsen zu betrachten, die nur *theilweise* an ein tropfbar flüssiges Medium grenzen. Hierbei werden uns die eben angestellten Betrachtungen über die osmotischen Vorgänge bei den ganz in einem tropfbar flüssigen Medium wachsenden Pflanzen wesentlich zu statten kommen.

*) Merkwürdig bleibt vor der Hand, dass z. B. Stoffe, wie das salpetersaure Kali, die einmal von der Pflanze aufgenommen, mit grosser Beharrlichkeit festgehalten werden, (wie aus den Beobachtungen, die man beim Versetzen von in Lösung gewachsenen Luftpflanzen gemacht hat, geschlossen werden darf) doch noch einige ihrer chemischen Eigenschaften in der Pflanze bewahren zu können scheinen. Das salpetersaure Kali, das nicht wieder zum Austreten durch die Wurzeln zu bewegen ist, kann gleichwohl in solcher Menge in mit soweit ungeänderten Eigenschaften in der Pflanze enthalten sein, dass es ein Verbrennen derselben unter Funkensprühen veranlasst.

Zwanzigste Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Die bei der Stoffaufnahme der Luftpflanzen zusammenwirkenden Erscheinungen.

Bei den höheren Luftpflanzen grenzt regelmässig *) ein Theil der Pflanzenorgane an ein tropfbar flüssiges Medium, sei es nun, dass sie in eine wässrige Flüssigkeit völlig hineinragen, oder mit (von einem festen pulverigen Körper) kapillar festgehaltenem Wasser in Berührung sind. Bei diesen höheren Pflanzen sind die Organe, vermittelst deren die Berührung mit wässrigen Flüssigkeiten stattfindet, unter allen Umständen die Wurzeln, wenn auch nicht stets die ganze Wurzel mit Wasser (denn als solches kann man alle die in's Spiel kommenden wässrigen Lösungen vorerst noch bezeichnen) in Berührung ist.

Die Wurzeltheile, die in das Wasser eintauchen, stehen nun aber in continuirlichem Zusammenhang mit Pflanzentheilen, die in das Luftmeer sich emporstrecken. Aus diesem Verhalten ergibt sich augenscheinlich eine von der der untergetauchten Wasserpflanze sehr abweichende Stoffaufnahme.

Denken wir uns in einer einzelnen untergetauchten Pflanzenzelle eine organische Substanz von bedeutender Anziehungskraft zum Wasser, aber colloïdaler Beschaffenheit, so dass sie nicht im Stande ist, die Zellmembran zu durchdringen. Was wird die Folge sein? — Es wird Wasser in grosser Menge aufgenommen, kein anderer Stoff dafür ausgegeben werden, und so wird (ähnlich wie wir dies früher an künstlichen Apparaten beobachtet haben) ein erheblicher Druck in der Zelle entstehen, da die Zellhaut nicht ohne Weiteres die in ihr enthaltene Lösung filtriren lässt. Der Druck wird aber weiter keine Wirkungen ausüben können; höchstens wird die Zelle, wenn die Umstände hiezu günstig sind, zerplatzen, wenn nemlich der Druck die Festigkeit der Zellhaut übersteigt.

Die ganze Sachlage wird nun keine bedeutende Veränderung erleiden, wenn ich mir an die Stelle einer einzigen Zelle einen Complex von untergetauchten Zellen denke, selbst wenn ich hiebei verschiedene Filtrationswiderstände der äusseren an das Wasser grenzenden Zellmembranen und der innern, Zelle von Zelle abschliessenden annehme. Der Druck der einzelnen mehr nach Aussen oder nach Innen liegenden Zellen kann dabei, je nach diesen Filtrationswiderständen, ein sehr verschiedener sein und ebenso die Zellsaftsconcentrationen; in keinem Falle wird aber der vorhandene Druck irgend Etwas der Art bewirken können, was wir sogleich für einen Zellencomplex, der theilweise an ein flüssiges, theilweise an ein gasförmiges Medium grenzt, als nothwendige Folge eines solchen Druckes bei verschiedenem Filtrationswiderstand der einzelnen Zellmembranen erkennen werden.

*) Mit Ausnahme freilich des allerersten Keimungsstadiums, wo der Same rings von Wasser umgeben sein kann. Die Stoffaufnahme in dieser Periode, die mit Recht eigenen Untersuchung unterworfen worden ist (vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs. II. p. 200 bis 230) ist ganz der der untergetauchten Wasserpflanzen analog und kommt lediglich durch dieselben zwei Momente wie jene zu Stande.

Wir denken uns nun eine Zelle, die ganz dieselben Verhältnisse repräsentirt, wie die eben angenommenen, nur soll sie theilweise aus der wässrigen Flüssigkeit herausragen oder — was mehr der Sachlage in der Luftpflanze entspricht, — mit andern Zellen, die aus dieser Flüssigkeit hervorragen, in continuirlicher Verbindung stehen. Zugleich machen wir nun die Voraussetzung, dass die Zellmembranen, durch welche die von der Flüssigkeit umgebene Zelle von den in der Luft befindlichen Gewebetheilen getrennt ist, in ihrer Gesammtheit einen geringeren Filtrationswiderstand besitzen, als diejenige, mit der die Zelle an die Flüssigkeit grenzt. Was wird unter diesem Umständen eintreten? — Auch in diesem Falle wird sich ein Flüssigkeitsdruck innerhalb jener an die Flüssigkeit grenzenden Zellen geltend machen, da nach der Annahme der colloïdale Inhalt derselben Wasser von Aussen anziehen sollte, ohne dafür fähig zu sein, umgekehrt Substanz nach Aussen abzugeben. Allein dieser Druck trifft in verschiedenen Richtungen, da er von ungleichartigen Membranen umgeben ist, verschiedene Filtrationswiderstände an und wird so befähigt sein, eine Flüssigkeit von einer gewissen Concentration in die Gewebetheile hinüberzupressen, die nicht mit Wasser in Berührung stehen, — eine Flüssigkeitssäule in die Höhe zu heben über das Niveau der Flüssigkeit, in der die jenen Druck erzeugenden Zellen liegen.

Es kann keinen Augenblick zweifelhaft sein, welche Kräfte es sind, denen diese Arbeitsleistung zugeschrieben werden muss. Es sind die Anziehungskräfte der Anfangs getrennten Flüssigkeiten,*) die bei der freien Mischung derselben lediglich Wärme erzeugt haben würden, und die bei der Herstellung eines osmotischen Apparats mechanische Arbeit zu leisten im Stande sind. Wir haben bei unsern allgemeinen Betrachtungen der Diffusionserscheinungen diese Verhältnisse genugsam beleuchtet.

Wir brauchen nun nur noch das gehobene Wasser oben abfliessen zu lassen, und haben in jenem osmotischen Apparat eine Vorrichtung zur constanten Hebung von Flüssigkeit. Zur constanten Hebung? — Das kann nicht richtig sein, denn das wäre ja das leibhaftige *Perpetuum mobile*; und dieses ist nach dem Princip der Erhaltung der Kraft eine bare Unmöglichkeit.**) — Sehen wir also näher zu, und beachten wir namentlich die Concentration der gehobenen Flüssigkeit. Auf diese kommt es an, denn in ihr liegt die Quelle der Hubkraft.

Wir haben den Filtrationswiderstand in verschiedener Richtung verschieden sein lassen d. h. die Annahme gemacht, dass in Folge des Drucks, welcher in der an die Flüssigkeit grenzenden Zelle auf die erläuterte Weise entsteht, nach den andern Zellen hin schon eine *Durch*pressung der in jener Zelle enthaltenen colloïdalen Substanz möglich wäre, ehe dieselbe nach Aussen hin in die umgebende Flüssigkeit hindurch filtriren könnte. Diese Annahme war durchaus nothwendig, denn ohne sie könnte augenscheinlich niemals Hebung einer Flüssigkeit stattfinden, da dieselbe offenbar eher in das umgebende Wasser gepresst werden würde, als nach Oben, wo ausser dem Filtrationswiderstand noch der hydrostatische Druck überwunden werden muss. Es ist also leicht einzusehen ***), dass eine Lösung, kein reines Wasser unter

*) Freilich strenge diese nicht allein; vergl. p. 301.

**) Wegen des niemals zu vermeidenden vorwiegenden Uebergangs von Kräften in Wärme, den man als Verschleiss von Arbeitskraft bezeichnen kann.

***) Dies wird aus dem Folgenden noch verständlicher werden.

den angenommenen Bedingungen gehoben wird, eine concentrirtere Flüssigkeit, als die unten osmotisch aufgenommene, in der die anziehenden Kräfte, welche die Leistung der Arbeit veranlassen, theilweise zum Ausgleich gekommen sind, dass mit andern Worten der osmotische Apparat in der Folge durch seine eigne Wirksamkeit naturnothwendig unbrauchbarer wird und sich schliesslich selbst vernichtet. — Ein Perpetuum mobile besteht also hier in der That nicht, wie man auf den ersten Blick hätte glauben können.

Man kann nun die Möglichkeit eines solchen Verhaltens durch einen Versuch veranschaulichen, — durch einen Versuch, den wir indessen nicht anstellen werden, da er im Grunde identisch ist mit einem schon gemachten. Wir hatten in jener Vorlesung *), die uns mit den gewöhnlichsten Formen der Diffusionserscheinungen bekannt machen sollte, das Entstehen eines hydrostatischen Drucks in Folge des ungleichmässigen osmotischen Austauschs so demonstrirt, dass wir eine Salzlösung, die Wasser mit Begierde in sich aufnimmt, selbst aber nur schwierig und viel langsamer als das Wasser durch die verwendete Membran passiren konnte, in einer Röhre ihr Volum (eben durch jenen Austausch verschieden grosser Raumtheile beider Flüssigkeiten) vermehren liessen, was nur durch Steigen der Lösung in der Röhre, also unter Hebung einer Flüssigkeitssäule geschehen konnte. Auch hier musste das Gehobene nothwendig eine concentrirtere Lösung sein, als die unten durch die Membran aufgenommene Flüssigkeit, die in dem vorliegenden Falle reines Wasser war; auch in diesem Falle zerstörte der osmotische Apparat, als Hebevorrichtung betrachtet, seine eigene weitere Wirksamkeit, indem die sich anziehenden Flüssigkeiten, in denen die arbeitenden Kräfte endgiltig zu suchen sind, sich mehr und mehr vermischten. Und wie kann es in der That anders sein?

Der ganze Unterschied des damals gezeigten Vorgangs von dem vorhin in's Auge gefassten ist die Einschaltung weiterer Membranen, die aber, um die beobachtete Wirksamkeit nicht ganz und gar zu Nichte zu machen, schwächere Filtrations-Widerstände **) zeigen müssen, als jene direkt mit der äusseren Flüssigkeit in Berührung stehenden. Durch diesen Vergleich ist der Sinn und die Bedeutung jener sekundären Membranen, die man als die „innern“ des ganzen Apparates bezeichnen könnte, hinlänglich deutlich gemacht.

Dass es Zusammenstellungen geben muss, die z. B. aus einem cylindrischen Röhrenstück, das nach beiden Seiten hin mit *verschiedenen* Membranen verschlossen und mit irgend einer concentrirten wässrigen Lösung gefüllt ist, und aus einer senkrecht stehenden engeren Steigeröhre, die mittelst einer Kautschukkappe wasserdicht an die eine Seite jenes Röhrenstücks befestigt ist, ***) bestehen, versteht sich nach den allgemeinen Gesetzmässigkeiten der osmotischen Erscheinungen, mit denen

*) In der vorletzten.

**) Diese schwächeren Filtrationswiderstände in der einen Richtung können auch so hergestellt werden, dass man dort nur eine Membran, in der anderen Richtung nach der äusseren Flüssigkeit zu aber mehreren Membranen von derselben Art anbringt.

***) Einen ähnlichen Apparat zuerst construirt zu haben, und daraus die Erscheinung der Wurzelkraft, (mit welchem Ausdruck die Ursache analoger Vorgänge in der Pflanze bezeichnet wird), zu erklären, ist Hofmeister's Verdienst. Vergl. Flora 1862 p. 145 u. ff.

wir uns im Wesentlichen vertraut gemacht haben, ganz von selbst. — Aber die (qualitative oder quantitative) *Verschiedenheit* der zur Begrenzung des Raums, in welchem die colloïdale Flüssigkeit sich befindet, angewendeten Membranen oder der verschiedene Filtrationswiderstand in den verschiedenen Richtungen ist durchaus unerlässlich. Lediglich eine einzige Membran zu verwenden und nach Oben zu jenen Raum gar nicht zu schliessen, ist im Grunde nur ein spezieller Fall der möglichen Zusammenstellungen, wenn auch der extremste. *)

Wir gehen nun zu den Verhältnissen über, wie sie thatsächlich in der Luftpflanze bestehen, und sehen uns um, ob dort irgend Etwas Aehnliches wie Das, was wir eben als theoretisch möglich erachtet haben, in Wirklichkeit anzutreffen ist.

Die grösste Wahrscheinlichkeit, Etwas Derartiges anzutreffen, ist offenbar in nächster Nähe der Wurzel, die theilweise mit der Bodenflüssigkeit in Berührung ist, vorhanden. Schneiden wir den Stamm einer normal bewurzelten Pflanze, z. B. einer Sonnenblume in der Nähe des Bodens quer ab, so sehen wir namentlich zu gewissen Jahreszeiten einen Saftstrom **) ausquellen, oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, eine Blutung eintreten. Der austretende Saft kann entfernt nicht als der Inhalt der verletzten Zellen angesehen werden und auch nicht als lediglich den durch die Zerschneidung eines bedeutenden Druckes entlasteten Nachbarzellen entstammend, denn wenn man mittelst einer luftdichten Verbindung einen Manometer an der Schnittfläche befestigt, so steigt das Quecksilber im äusseren Schenkel des Manometers langsam, aber continuirlich auf eine gewisse Höhe, die von der Art, dem Vegetationsstadium der betreffenden Pflanzen, den Temperaturverhältnissen etc. abhängig ist. Der Unterschied im Quecksilberstand der beiden Manometerschenkel repräsentirt dann schliesslich den Flüssigkeitsdruck, unter dem der Saft noch gerade auszutreten fähig war, einen Druck, der auch geradeso in der unverletzten Pflanze an derselben Stelle als bestehend gedacht werden muss, nur dass er dort einer viel höheren Säule einer verdünnteren wässrigen Flüssigkeit das Gleichgewicht hielt. Dieser Druck wird schon seit langer Zeit als Wurzeldruck ganz allgemein bezeichnet, da man wohl erkannt hatte, dass das Vorhandensein der Wurzel an der Pflanze eine durchaus unerlässliche Bedingung für das Zustandekommen der beobachteten Erscheinung sei.

Die Erfahrung an der lebenden Pflanze zeigt nun ferner, dass die Manometerstände um so geringer ausfallen, je höher man an einer Pflanze den Schnitt führt und die Schenkelröhre anbringt; und in der That erscheint uns dieser Sachverhalt

*) Ich möchte hier darauf aufmerksam machen, dass **Sachs** dem von **Hofmeister** aufgestellten (und von ihm adoptirten) Erläuterungsversuch die Spitze abbricht, wenn er die verschiedenen Filtrationswiderstände der in's Spiel kommenden Zellhäute zwar anerkennt, aber meint, dass trotzdem der hindurchgepresste Saft nicht wesentlich concentrirter zu sein brauche, als der von Aussen aufgenommene. (Vergl. J. **Sachs**: Handbuch d. Phys. d. Pfl. p. 206). Hätte der genannte Forscher mit dieser Anschauung Recht, so würde er in der That das **Perpeteum mobile** entdeckt haben, und es kann nur Wunder nehmen, dass er von dieser grossen Entdeckung nicht mehr Aufhebens macht.

**) Ich erinnere z. B. an die bekannteste Thatsache dieser Art, an das Thränen der Reben nach dem Beschneiden derselben im Frühjahr.

als sehr natürlich, da wir selbstredend annehmen müssen, dass der in der Pflanze emporgepresste Saft einen Flüssigkeitsdruck geltend macht. Wir können darnach durch zweierlei Versuche eine Vorstellung von der Intensität der Wurzelkraft erlangen, einmal, indem wir möglichst weit unten das Manometer anbringen und das endliche Maximum der Steighöhe des Quecksilbers beobachten, oder indem wir die grösste Höhe am Stamme ermitteln, wo überhaupt nach dem ausgeführten Schnitt noch ein Druck sich bemerklich macht. Die grösste Höhe bis zu der in einem Stamme durch den Wurzeldruck Flüssigkeit emporgehoben werden kann, ist nach den bis jetzt verliegenden Beobachtungen, auf die eine oder die andere Weise angestellt, etwa eine Atmosphäre (Hales, Hofmeister).

Es kann gar keinem Zweifel unterliegen, dass wir es in der in dieser Form sich darstellenden Wurzelkraft mit einer eigenthümlichen Erscheinung zu thun haben, zu deren Erklärung offenbar zu jenen Vorgängen in den osmotischen Apparaten zurückgegriffen werden muss. Es könnte kaum eine andere Kraft *) denkbarer Weise als Ursache jener merkwürdigen Wirkung in der Pflanze in Anspruch genommen werden.

Machen wir nun die nothwendigen Anwendungen unserer vorausgeschickten theoretischen Betrachtungen auf den vorliegenden an der lebenden Pflanze beobachteten Fall. Die Erfüllung der theoretisch geforderten Bedingungen macht keinerlei Schwierigkeit. Wir können uns die Wurzelzellen, die zunächst mit dem Bodenwasser in Berührung stehen, recht wohl mit organischen Substanzen erfüllt denken, welche mit der äussern Flüssigkeit in osmotische Wechselwirkung treten und dabei für die betreffende Zellmembran von so colloïdaler Beschaffenheit sind, dass keine wesentlichen Mengen dieser Substanzen durch die Zellmembran nach Aussen dringen. Diese organische Substanz können z. B. Stärkekörner **) sein. die in den betreffenden Zellen in Glycose sich umwandeln und so eine grosse Anziehungskraft für Wasser äussern. Kurz die ganze uns Anfangs so befremdende Erscheinung scheint auf dem zuerst von Hofmeister eingeschlagenen Weg eine genügende Erklärung zu finden.

Indess wir dürfen die weitern allgemeinen Gesichtspunkte, zu denen wir bei unsern theoretischen Betrachtungen gelangt sind, nicht aus dem Auge verlieren. Wir haben dort gesehen, dass ein beliebig zusammengesetzter, aber in der Art der Wurzelkraft arbeitender Apparat nicht in derselben Construktion continuirlich jene Hubkraft äussern kann, dass es nemlich eine unerlässliche Bedingung zum Zustandekommen der ganzen eigenthümlichen Wirkung war, dass die Filtrationswiderstände der innern Membranen der Pflanze, durch die der Saft in die Höhe gepresst wird, geringere sind, als die der äusseren, die Wurzelzellen nach der Bodenflüssigkeit hin abschliessenden, — dass es ebenso und aus demselben Grunde eine ganz unerlässliche, wenn auch bei den Erklärungsversuchen häufig ausser Acht gelassene Bedingung jener Wirkung war, dass der nach oben durchgepresste Saft von grösserer Concentration als das unten aufgenommene Bodenwasser ist, weil in demselben

*) Wir werden indessen diese Möglichkeit unten noch zu erwägen haben.

**) Dass die Zellen von Wurzeln, die eine bedeutende Hubkraft zu äussern vermögen, stets reich an Inhaltskörpern sind, denen osmotische Wirkungen zugeschrieben werden, ist von Hofmeister (Flora 1862 p. 141) gezeigt worden.

die anziehenden Kräfte (auf welche die ganze osmotische Wirkung und die ganze mechanische Arbeit der Safthebung zurückgeführt werden konnte) zu einer theilweisen Ausgleichung gelangt sein mussten.

Wenn wir trotzdem in vielen Fällen doch nicht hohe Concentrationen an den durch Wurzeldruck ausgepressten Säften wahrnehmen und noch dazu finden, dass der Gehalt dieser Säfte an aufgelösten Stoffen grossentheils in mineralischen Stoffen besteht, so liegt hier einmal die Möglichkeit vor, dass die wirklich ausfliessenden Flüssigkeitsmassen nur vorgeschobene Säfte sind, die von concentrirteren verdrängt worden sind, so dass im Ganzen doch eine Vertheilung und Verdünnung der osmotisch wirkenden Stoffe eingetreten ist, wie es die Theorie verlangt, und, wo diese Unterstellung (wegen der sehr grossen Massen von ausgepressten Flüssigkeiten) sich verbietet, da muss eben für einen solchen Fall jener Erklärungsversuch geradezu aufgegeben werden.

Ich kann indess zur Beruhigung hinzusetzen, dass bis jetzt noch nicht genügendes Augenmerk auf diese Concentrationsverhältnisse gerichtet worden ist und dass man es noch ganz und gar unterlassen hat, direkt Berechnungen *) anzustellen, ob durch die Lösungswärme der in den Wurzelzellen enthaltenen löslichen Stoffe, die Arbeitskraft, die zum Heben der Flüssigkeitssäulen erforderlich ist, gedeckt werden kann. **)

In einzelnen Fällen haben allerdings die ausgepressten Saftmengen sehr bedeutende Concentrationen. So ist hier vor Allem an das von Humboldt ***) beschriebene Beispiel der *Agave americana* zu erinnern, der man in Mexico vor der Streckung des Blüthenstammes das Herz ausschneidet, um auf diese Weise (von einer Pflanze täglich im Durchschnitt 200 Kubikzoll) einen Saft zu gewinnen, den man gähren lässt und dann als „Pulque" trinkt. Bei den ungeheueren Mengen von Flüssigkeit, um die es sich hier handelt (bis 50,000 Kubikzoll von einer einzigen Pflanze innerhalb 5 Monate) müsste man natürlich auf einen Erklärungsversuch verzichten, wenn nicht der ausgepresste Saft erhebliche Mengen von organischer Substanz enthielte. Dies ist aber im vorliegenden Falle zur Genüge bewiesen, da man aus dem Saft ein gegohrenes Getränke bereitet.

Für unsere einheimischen Pflanzen, die eine starke Blutung unterhalten, scheinen dagegen im Allgemeinen geringe Concentrationen aufgefunden worden zu sein. †)

---

*) Es sind hier allerdings ohne Zweifel noch einige Hindernisse zu überwinden, die hauptsächlich die Bestimmung der osmotisch wirkenden Körper und der Wärmemengen betrifft, welche durch Sättigung der betreffenden Anziehungen in der Pflanze frei werden.

**) Namentlich ist hier an die erstaunliche Grösse des mechanischen Arbeitsäquivalents für Wärme zu erinnern. Die gleiche Menge Wärme, die dazu nothwendig wäre, einen Gewichtstheil Wasser um einen Grad der Centesimalscale zu erwärmen, würde diesen Gewichtstheil um 424 Meter oder 42 Gewichtstheile um 10 Meter zu heben im Stande sein.

***) Citirt v. Sachs: „Neu-Mexiko u. s. w. Buch IV. Cap. IX."

†) Es sind namentlich die einschlagenden Versuche von Ulbricht zu erwähnen, der (Versuchsst. 1864 p. 468 und 1865 p. 185) die Blutungssäfte von Kartoffel-, Tabakspflanzen und Sonnenblumen einer ausführlichen chemischen Untersuchung unterwarf. Die Concentration der ausfliessenden Säfte war in der Regel 1—2 Promille, doch auch noch etwas darunter und zuweilen höher. Dieselbe nahm vom Beginn der Blutung her stetig ab. Etwas

Die Schlüsse, die hieraus gezogen werden können, wollen wir indessen einstweilen auf sich beruhen lassen.

Vielleicht ist es möglich, noch andere Ursachen der Wurzelkraft aufzufinden. Wenn z. B. Körper in den betreffenden Wurzelzellen enthalten sind, welche mit Wasser zusammengebracht, eine Volumvermehrung zeigen, so würde überschüssiges Wasser, das in diesem Falle keine gelösten Stoffe zu enthalten brauchte, freilich nur in sehr geringer Menge, nach oben gepresst werden. Es ist weiter der Gedanke nicht von der Hand zu weisen, dass auch die Kräfte, die in jeder lebenden Pflanze die Ursache der Gewebespannung sind und über deren Ursprung wir zur Zeit noch keine Klarheit gewonnen haben, unter Umständen die Hebung von Säften veranlassen können; doch wird selbstredend diese Frage in ihren Details erst übersehen werden können, wenn einmal der Ursprung jener Kräfte mit genügender Sicherheit erkannt ist. *) Jedenfalls kann aber auf Grund der hinter uns liegenden Ausführungen behauptet werden — mag nun in den osmotischen Wirkungen gewisser in den Wurzeln enthaltener organischer Stoffe die ausreichende Ursache für die Wurzelkraft gefunden werden oder nicht — dass der Apparat, der jene Kraft zu Stande kommen lässt, durch seine eigene Wirksamkeit nach und nach nothwendig untauglicher und untauglicher für die gleiche Wirkung werden muss. Es müssen desshalb zur endgültigen Erklärung des continuirlichen Saftauftriebs durch die Wurzel noch Vorgänge gesucht und gefunden werden, mittelst deren jener Apparat immer wieder von Neuem in Stand gesetzt wird. Dass dies nicht wieder lediglich osmotische Kräfte sein können, ist klar, und ein derartiger Erklärungsversuch hiesse es machen, wie Münchhausen, der mit einem Strohseile vom Monde herabkletterte und es immer oben abschnitt und unten wieder anknüpfte, um die nöthige Länge zu erreichen. Was nun zur continuirlichen Herstellung des osmotischen Apparats für Kräfte und auf welche Weise diese in Anspruch genommen werden müssen, ist nicht bekannt. Ob hier die Gewebespannung mitwirkt? und welche Kräfte wieder diese Gewebespannung veranlassen? — auf diese Frage lässt sich zur Zeit noch keine Antwort geben. Man berührt damit dieselben Schwierigkeiten, die uns schon in dem Kapitel über Stoffwanderung bei Erklärungsversuchen dieser Erscheinungen aus dem Gesichtspunkte osmotischer Wirkungen entgegengetreten sind. Wir wollen auch auf die Erwägung der Stichhaltigkeit der verschiedenen Eventualitäten hier nicht eingehen. — Auf den Umstand der Selbstzerstörung des die Saftsteigung bewirkenden Wurzelapparates hier aufmerksam zu machen, war nothwendig.

über die Hälfte der im Blutungssafte gelösten Substanzen war mineralischer Natur, nemlich aus dem Boden stammende Nährstoffe, der andere Theil organische Substanz.

So gering diese aufgefundenen Concentrationen sein mögen, so sind sie doch ohne Zweifel etwas höher, als die der durch die Wurzeln aufgenommene Nährstofflösung, so dass sich immerhin die im Texte besprochene Theorie des Wurzeldrucks mit diesen Thatsachen vereinigen liesse. Namentlich spricht auch für diese Interpretation die stetige Abnahme der Concentration, mit der Dauer des Vorgangs.

*) Und dazu wird es nöthig sein, die elementarsten Erscheinungen des Wachsthums hinsichtlich des Ursprungs der dabei zur Wirksamkeit kommenden Kräfte in's Auge zu fassen.

Für unseren Zweck, der jetzt darin besteht, die Nährstoffaufnahme der Luftpflanze in ihren Abweichungen von dem gleichen Vorgang bei den unter weit einfacheren Verhältnissen lebenden ganz von Flüssigkeit bedeckten Gewächsen kennen zu lernen, ist das Bestehen der Wurzelkraft von Wichtigkeit, auch wenn es noch nicht gelingt, für diese merkwürdige Erscheinung in jedem einzelnen Falle eine völlig genügende Erklärung beizubringen.

Wir haben es in der Wurzelkraft mit einem Moment zu thun, das die Stoffaufnahme vieler höheren Gewächse in bedeutender Weise modificirt; ich sage: *vieler Gewächse,* denn bei einer ganzen Reihe hat man niemals aus Wunden oberhalb der Wurzel Saft ausgepresst werden sehen, niemals ein Thränen wahrgenommen. Dahin gehören Pflanzen sehr verschiedener Organisation, wie z. B. die *Coniferen*, aber auch eine ganze Reihe unserer gewöhnlichen Laubhölzer.

In Betreff der Abhängigkeit der Intensität der Wurzelkraft und der Mengen des in einer gewissen Zeit durch eine beigebrachte Wunde ausströmenden Saftes von Jahreszeit, Vegetationsperiode, von der Pflanzenart und den äusseren Umständen können wir uns auf einige Andeutungen beschränken. Durch Temperaturerhöhung wird die Wurzelkraft gesteigert, und diese Erfahrung steht vollkommen im Einklang mit dem gemachten Erklärungsversuch. Wir wissen, dass alle Diffusionswirkungen und also auch die osmotischen Vorgänge mit Steigerung der Temperatur zunehmen. Da nun die Wurzeln, von denen die in Rede stehende Wirkung ausgeht, sich im Boden befinden, so wird die Geschwindigkeit des Ausflusses des Safts mit Erhöhung der Bodenwärme steigen.

Ebenso ist der Wurzeldruck — und dies erscheint uns ebenso selbstverständlich — von der Wassermenge im Boden abhängig. In einem trockenen Boden, dessen kapillare Zwischenräume grossentheils mit Luft erfüllt sind, werden viele Theile des Wurzelgewebes, die einer osmotischen Wirkung wohl fähig wären, in Unthätigkeit versetzt sein und so die Gesammtwirkung beeinträchtigen. In sehr trocknen Böden kann die Wurzelkraft unter sonst günstigen Umständen geradezu gleich Null werden.

Abgesehen von dieser Abhängigkeit des Wurzeldrucks von äusseren Umständen, hat man nun aber noch beobachtet, dass diese Kraft täglichen Schwankungen *) unterworfen ist, die man bisher noch nicht zu erklären vermocht hat und deren Sinn wir hier zu erläutern unterlassen wollen.

Schon aus einigen bis jetzt gemachten Bemerkungen ergibt sich, dass es nicht möglich ist, die Flüssigkeitsbewegung durch unsere hohen Gewächse z. B. bis in den höchsten Wipfel der Bäume auf die Wurzelkraft zurückzuführen. Einmal finden wir in einer grossen Reihe von Gewächsen keine erhebliche Wurzelkraft vor, und dann reichen auch selbst die gefundenen Maximaldrucke, die ungefähr eine Atmosphäre betragen, entfernt nicht aus, um den Safttrieb bis in die höheren Gewächse zu erklären.

Es wird also jedenfalls unsere Aufgabe sein, noch andere Ursachen des Saftauftriebs zu suchen und auf ihre Wirksamkeit zu prüfen. In vielen Einzelfällen,

*) Dass diese täglichen Schwankungen nicht lediglich vom Stande der Sonne und von dem Verlauf der Tagestemperaturen abhängig ist, scheint bewiesen zu sein.

die wir nun schon werden voraussagen können, ist die Druckgrösse der Wurzelkraft bedeutender, als der Erhebung der Pflanze entspricht. Kleinere, mehr krautartige Gewächse, wenn ihnen überhaupt eine erhebliche Wurzelkraft zukommt, werden bei bedeutender Erdwärme und Bodenfeuchtigkeit, also z. B. des Morgens, wenn zugleich wegen der niederen Lufttemperatur die Verdunstung des Wassers durch die oberirdischen Organe, mittelst welcher das durch die Wurzelkraft gehobene Wasser rasch wieder entfernt wird, eine sehr geringe ist, einen sehr erheblichen Wurzeldruck geltend machen, der oft das Wasser *weit höher* zu heben bestrebt ist, als dies in der niedrigen Pflanze möglich ist, und darum bis in die obersten Organe sich fühlbar macht. Unter solchen Umständen sehen wir dann oft klare Tropfen an den Spitzen der Blätter *) ausgepresst werden. **) Eine ganz analoge Erscheinung, bei ganz andersartigen Organismen ist voraussichtlich die Tropfenausscheidung, die man häufig auf den Rasen von Schimmelpilzen bemerkt. Nichts verhindert diese Erscheinung im Kleinen auf ganz dieselbe Weise zu erklären.

Die eben erwähnten Fälle sind jedoch die Ausnahme. In der Regel reicht die Wurzelkraft bei Weitem nicht hin, um den Saftauftrieb durch die ganze Pflanze zu erklären. Dies zwingt uns, weitere Ursachen dieser Erscheinung aufzusuchen.

Ein zweites Moment des Saftauftriebs haben wir nun schon in der letzten Vorlesung kennen gelernt, *die Verdunstung durch die oberirdischen Organe* oder die *Transpiration*. Das Wasser, was die an die Atmosphäre grenzenden Zellhäute durchtränkt, hat ein Bestreben Gasgestalt anzunehmen, dem es bis zu einem gewissen Grade Folge leistet. Es überwindet aber dabei gewisse Anziehungskräfte, die theilweise kapillarer Natur sind, theilweise durch die im Zellsaft gelösten Bestandtheile ausgeübt werden. Durch den Umstand, dass das Wasser verdunstet, wird also jedenfalls das Gleichgewicht zwischen den verdunstenden Zellen und deren Nachbarzellen gestört. Jene sind verhältnissmässig wasserarm geworden und der verhältnissmässig concentrirtere Zellsaft wird nothwendig in osmotische Wechselwirkung treten mit dem wasserreicheren Zellsaft, der nicht der Verdunstung ausgesetzten jenen zunächst liegenden Zellen, und wird diesen eines Theils seines Wassers berauben.

In ähnlicher Weise werden sich auch die Kapillarkräfte der Zellhaut geltend machen, und so wird sich die einmal durch die Verdunstung geleistete Arbeit immer weiter fortpflanzen auf ferner und ferner liegende Zellpartien. Da nun aber auch die wasserärmeren Zellen einen geringeren Druck zeigen müssen, wie die wasserreicheren, ***) so wird, wenn vorher eine ganze Zellpartie den atmosphärischen Druck

*) Z. B. an den ersten Blattspitzen der Keimpflanzen von Gramineen, aber auch an sehr vielen andern Pflanzen (vergl. Rochleder: Chem. u. Phys. d. Pfl. 1858 p. 102 u. an vielen andern Orten.

Die ausserordentlich geringe Menge des so ausgepressten Saftes lässt indessen auch manche andere Deutung dieses Vorgangs zu.

**) Ueber den Substanzgehalt solcher Tropfen vergl. Völcker: Ann. of nat. hist. soc. Ser. IV. p. 128.

***) Vorausgesetzt, dass die Zellhaut fähig ist, einen gespannten Zustand anzunehmen, — eine Fähigkeit, die für normale pflanzliche Gewebetheile leicht nachgewiesen werden kann.

besass, nach einer Periode, in der sie der Verdunstung ausgesetzt war, dieselbe einen geringeren Druck als den der atmosphärischen Luft zeigen müssen. — Man kann dieses Verhalten mit leichter Mühe anschaulich machen, wenn man ein frisches grünes Blatt von grosser Oberfläche in dem einen Schenkel eines U-förmigen Rohrs luftdicht befestigt, und dieses in dem einen Schenkel bis an den Blattstiel im andern Schenkel bis zur gleichen Höhe mit Wasser anfüllt, *) so dass also der auf die Gewebetheile des Blattstiels lastende Druck der atmosphärische ist, und nun ruhig sich selbst und der Transpiration überlässt, so kann man schon nach verhältnissmässig kurzer Zeit ein Sinken des Wasserspiegels in der offenen Schenkelröhre beobachten, die mit der Zeit eine ganz bedeutende werden kann, wenn es sich auch nicht um so erhebliche Druckdifferenzen **) handelt, wie sie im umgekehrten Sinn die Wurzelkraft zu erzeugen vermag.

Dieser einfach auszuführende Versuch lehrt ganz augenscheinlich, wie die durch Verdunstung des Wassers in den an die Atmosphäre grenzenden Zellen geleistete Arbeit sich durch das ganze Gewebe fortpflanzt, wie schliesslich die das Wasser berührenden Zellen und Gefässe ihren Verlust an Feuchtigkeit aus diesem ergänzen, und dabei einen gewissen Druck zu überwinden fähig sind.

Wir sehen auf diese Weise, wie die Transpiration eines Blattes — denn diese Organe kommen hier fast ausschliesslich in Betracht — als eine wahre Saugkraft zu wirken im Stande ist, und es kann nicht der geringste Zweifel darüber bestehen, ob diese Saugkraft bei dem Transport der Flüssigkeitsmasse durch den Pflanzenkörper mitwirkt. Es wird nicht blos durch die Verdunstung das fortwährende Fliessen des Wasserstroms in sofern ermöglicht, als ohne eine solche, trotz einer bedeutenden Wurzelkraft und auch bei der günstigsten Annahme, dass die belaubten Organe im Bereiche der Wurzelkraft lägen, nur unbedeutende Flüssigkeitsmengen in Folge dieser Kraft ausgepresst werden würden u. s. w., — wie sich ja ganz von selbst versteht; — es wird ausserdem dadurch, dass die Transpiration wie eine saugende Kraft wird, die Geschwindigkeit des Wasserstroms wesentlich beschleunigt.

Bei der Transpirationskraft, wie bei der Wurzelkraft sind es mit grosser Wahrscheinlichkeit wesentlich osmotische Processe, durch welche die ganze Wirkung ermöglicht wird. Allein ein grosser *Unterschied* besteht bei beiden Processen *hinsichtlich der ursächlich wirkenden Kraft*, auf den noch besonders hinzuweisen, ich hier nicht unterlassen kann.

Bei der Wurzelkraft ist die chemische Differenz zweier diesseits oder jenseits einer oder mehrerer Membranen liegenden Flüssigkeiten vermuthlich die Ursache der ganzen Erscheinung. Diese chemische Differenz, auf welche also die Arbeitsleistung zurückgeführt werden kann, verschwindet nothwendig durch jene Arbeitsleistung;

---

*) Dabei muss dafür gesorgt werden, dass in dem offenen Schenkel keine erhebliche Verdunstung stattfinden kann. Am Besten füllt man die Röhre theilweise mit Quecksilber an, aber so, dass zu Anfang des Versuchs eine vollkommene Gleichheit der Drucke herrscht.

**) Bei Saugkräften ist die äusserste theoretisch denkbare Möglichkeit die Höhe einer Atmosphäre, bei Druckkräften ganz unbegrenzt.

der ganze Apparat wird mit der Zeit untauglich und muss nothwendig durch neue uns unbekannte Kräfte wieder in seiner Wirksamkeit hergestellt werden.

Bei der Transpirationskraft ist die lebendige Kraft der Wassermolekule, durch welche diese geneigt sind, Dampfform anzunehmen, die Ursache der ganzen Erscheinung. Die osmotisch wirkenden Kräfte können hier ursprünglich als im Gleichgewicht sich befindend angesehen werden und werden erst durch die Verdunstung frei und wirksam gemacht. Und gerade desshalb, weil die osmotischen Kräfte nicht die Ursache der Erscheinung sind, bleibt der Apparat theoretisch unendliche Zeiten hindurch wirksam, vorausgesetzt, dass die in dem Zellsaft gelösten Substanzen, welche jene sekundäre osmotische Wirkung ermöglichen, rein colloïdaler Natur sind.

Dieser Sachverhalt lässt sich auch leicht dadurch anschaulich machen, dass man zeigt, dass der saugende Blattverdunstungsapparat sich durch eine ganze Reihe von beliebigen Vorrichtungen, wo man es augenscheinlich nur mit äusseren endgiltig wirkenden Kräften zu thun hat, ersetzen lässt. Wenn man ganz wie vorhin eine zweischenkelige U-förmige Röhre nimmt, sie wieder mit Wasser füllt und an das eine Ende eine Membran oder einen sehr feinporigen massiven Körper befestigt, die direkt mit dem Wasser in Berührung stehen, so kann man ganz genau wie dort eine Saugung bewirken, die sich durch das Fallen der Flüssigkeit im andern Schenkel (die auch wieder vor Verdunstung geschützt sein muss) sehr bald zu erkennen gibt. *) In diesem Falle sind es die kapillaren Kräfte des porösen Körpers oder die analogen spezifischen Anziehungskräfte der Membran zum Wasser, welche zu Anfang des Versuchs gesättigt waren und durch die Verdunstungskräfte des Wassers in Freiheit gesetzt und zur Wirksamkeit veranlasst werden, während im Blatte osmotische und kapillare Kräfte genau in derselben Weise in Thätigkeit versetzt worden sind.

Wenn wir es nun unternehmen, eine Vorstellung davon zu erlangen, wie Wurzelkraft und Transpirationskraft zusammenwirken und den Saftstrom durch die Pflanze treiben, so muss uns sogleich auffallen, dass noch eine Lücke bleibt, dass es mit diesen Elementen allein noch nicht möglich ist, die ganze Erscheinung zu construiren. Die Wurzelkraft wirkt bei manchen Pflanzen nicht oder nur sehr unerheblich und nur in gewissen Jahreszeiten und erlangt auch in den günstigten Fällen nur die Grösse einer Atmosphäre, die Transpirationskraft ist natürlich je nach der Beschaffenheit der das Laub umgebenden Atmosphäre, je nach der Saftfülle und Saftconcentration der transpirirenden Organe u. s. w. von sehr verschiedener Wirksamkeit; jedenfalls muss für sehr viele Pflanzen, namentlich für die, welche eine bedeutende Höhe erreichen, ein sehr grosses Pflanzenstück übrig bleiben, durch das hindurch der Saftstrom durch einen anderen Umstand getrieben wird, als durch die beiden bekannten und auf ihre Ursachen zurückgeführten Kräfte.

*) Ganz dieselbe Wirkung lässt sich ja auch erreichen, ganz ohne Zuhülfenahme fremder Kräfte, direkt durch die Verdunstung, wenn ich nemlich eine solche zweischenkelige Röhre an einem Ende völlig dicht verschliesse und am andern Ende der Verdunstung aussetze. Auch so erreiche ich eine ähnliche Differenz der beiden Wasserniveaus, die unter Umständen zu einer Arbeitsleistung benutzt werden kann. Alle die hier endgiltig auftretenden Kräfte lassen sich zurückführen, auf die Arbeiten, welche durch Verflüchtigung von Wassertheilchen geleistet werden.

Es ist nun aber sehr leicht, sich eine Vorstellung von der Ursache zu bilden, die jenen intermediären Saftstrom veranlasst. Man braucht nur an die kapillaren Kräfte zu denken und an die Umstände, unter denen sie sich äussern, um diese Ursache sogleich zu entdecken. Es kann einfach gesagt werden, dass alle hochgewachsenen Pflanzen in ihren Stamm- und Stengel-Theilen theilweise aus einem Gewebe gebildet sind, dessen kapillare Räume (durch Resorption der Querwände der ursprünglichen Zellen) mit einander in fortlaufender Reihe communiciren und so zur kapillaren Saftleitung ausserordentlich geeignet erscheinen, dass ferner der Substanz beinahe aller pflanzlichen Zellhäute jene feinere Kapillarität*) (hervorgebracht durch unsichtbare Poren), die man auch Imbibitionsfähigkeit genannt hat, zukommt, welche genau die gleiche Wirkung in ihrem Gefolge haben muss. — Man könnte sich vielleicht mit dieser einfachen Angabe begnügen. — Ich ziehe es jedoch vor, auch hier auf den Charakter der Kräfte, mit denen wir es in diesem Falle zu thun haben, etwas näher einzugehen, da auch in Bezug auf diesen Gegenstand noch viele Verwirrung herrscht.

Die Versuche von Jamin**) und Anderer, die sich mit dem Studium der Kapillarkräfte beschäftigten, zeigen, dass wir es in denselben mit *Kräften von ungewöhnlicher Energie* zu thun haben und mit solchen, *die nur auf eine sehr geringe Entfernung wirken.* Diese Energie wird um so mehr gesteigert, je grösser die Annäherung der Körper zu einander ist, die als der Sitz dieser Kräfte bezeichnet werden müssen. Das gilt auch für einen spezielleren Fall der Kapillarität zwischen festen und tropfbar flüssigen Körpern, von dem hier ausschliesslich die Rede sein soll.

Ein feinporiger Körper, dessen Poren alle in der Weise mit einander in offener Verbindung stehen, dass eine jede nach Aussen hin einen Zugang besitzt, saugt sich, mit einer Flüssigkeit in Berührung gebracht, die überhaupt Adhäsion zu seinen Theilchen besitzt, rasch voll, ein Vorgang, wie man ihn täglich an einem Stück Zucker beobachtet, das man mit einer Seite mit dem Kaffee in Berührung bringt. Die Luft, die vorher in den Poren des festen Körpers sich befand, wird dabei mit grösserer oder geringerer Gewalt ausgetrieben und kann dabei unter Umständen den Druck von mehreren Atmosphären erlangen.***) Die Höhe dieses Drucks gibt einen Begriff von der Energie, mit der man es in jedem einzelnen Falle zu thun hat.

Ein benetzter feinporiger Körper erscheint *dem Gasdruck* gegenüber, wenn nicht eigenthümliche Diffusionswirkungen zur Geltung kommen, *als ausserordentlich dicht,* weil die in den Poren haftenden Flüssigkeitspfropfe mit der grossen Energie kapillarer Kräfte festgehalten werden. Um die imprägnirte Flüssigkeit zu verdrängen, sind natürlich mindestens ebensogrosse Kräfte nothwendig als sich ursprünglich bei dem Akt des Einsaugens geltend gemacht haben.

---

*) Die Anwendung dieses Namens für die Imbibitionsfähigkeit der Zellhäute und anderer Membranen ist vielleicht unpassend. Es würde aber für unsern Zweck zu weit führen, wollte man noch einmal hier eine andersartige Kraft unterscheiden. Das Resultat der Betrachtungen ist völlig das Gleiche.

**) Compt. rend. T. 50. p. 172, 311 u. 385.

***) Wenn man z. B. den porösen Körper an die Oeffnung eines verhältnissmässig kleinen sonst verschlossenen Gefässes kittet und dann die Flüssigkeit einsaugen lässt.

Ein solcher benetzter feinporiger Körper verhält sich dagegen *wie ein leicht durchlässiger* und Nichts weniger als dichter Körper, wenn Gelegenheit gegeben ist, dass *die gleiche Flüssigkeit* wie die Imprägnirungsflüssigkeit durch ihn hindurchgeht, wo dann für die mit grosser Kraft festgehaltenen Flüssigkeitspfröpfe andere gleichartige untergeschoben werden, ohne dass eine Aenderung der kapillaren Kräfteäusserung stattfindet. Es kann also z. B. eine nasse poröse Thonzelle zum Filtriren von Wasser dienen, während Gase sich nicht durch sie mit solch' geringeren Kräften hindurchpressen lassen, sondern nur auf dem Weg der Diffusion und Absorption einen langsamen Ausgleich bewerkstelligen können.

Aus diesen Gesichtspunkten ergibt sich leicht das Verhalten, das die mit Adhäsion für Wasser begabten kapillaren Binnenräume der Pflanze der Saftleitung gegenüber zeigen müssen. Wir haben es in der Kapillaranziehung mit sehr bedeutenden Kräften zu thun, die bei genügender Enge der Poren die Druckkräfte mehrerer Atmosphären zu überwinden im Stande sind.*) Ein todter Baumstrunk von bedeutender Länge, feuchtet sich vermöge dieser Kapillarität durch und durch an, wenn man ihn mit einem Ende in's Wasser stellt, so dass wir die entgegengesetzte Hirnfläche feucht werden sehen. Wir haben diesen Vorgang theils der Kapillarwirkung in jenem gröberen Sinne des Worts, theils der Imbibitionsfähigkeit der Zellmembranen zuzuschreiben.

Wirken nun auf jene obere Hirnfläche des mit der unteren in Wasser tauchenden Stammes Verdunstungskräfte ein — und dies wird, wenn ein solcher Versuch unter gewöhnlichen Verhältnissen ausgeführt wird, stets der Fall sein —, so wird der Stamm wie eine Art Docht zur continuirlichen Emporhebung von Flüssigkeit dienen, und das ganze vorhandene Flüssigkeitsquantum durch jene obere Hirnfläche zur Verdunstung kommen können.**)

Allein hiebei ist wohl der Ursprung der Kräfte zu beachten, die bei einer derartig gedachten Zusammenstellung das Emporheben des Wassers veranlassen. Die Kapillarkräfte an sich sind eine gewisse Summe von Kräften, die ohne Weiteres nur ein *einziges* Mal zur Geltung kommen können. Der völlig benetzte Stamm kann an sich keine Kapillar- oder Imbibitions-Kräfte mehr geltend machen; diese sind soweit als möglich völlig gesättigt. — Erst eine andere *äussere Kraft* muss kommen, das Gleichgewicht stören, den Kapillarkräften einen Theil des festgehaltenen Wassers entreissen und die Uhr gleichsam wieder aufziehen, um eine neue Saftsteigung mit Hülfe jener Kräfte zu bewerkstelligen. Diese äussere Kraft kann nun eine ganz beliebige sein, die lebendige Kraft der sich verflüchtigenden Wassermolekule wie in unserm Beispiele, oder aber osmotische Kräfte und beliebig andere.

Eines ganz besondern Verhaltens, das bei der Saftsteigung durch luftführende Gefässe, wie sie in den höhern Pflanzen vorzukommen pflegen, in Betracht***) zu

---

*) Nägeli will zwar (Das Mikroskop 1865 p. 386) diesen Kräften keine so grosse Wirkung zugestehen. Allein ich habe nicht vermocht, mich in seiner Argumentation zu Recht zu finden.

**) Dass das Holz in den grösseren Gewächsen vorzüglich der Gewebetheil ist, durch den kapillare Saftleitung stattfindet, lässt sich mittelst Durchschneidung der anderen Gewebeformen leicht zeigen.

***) Namentlich zu manchen Jahreszeiten.

kommen scheint, ist hier noch ausdrücklich Erwähnung zu thun. Ein kapillares Glasrohr, wie wir es durch rasches Ausziehen einer gewöhnlichen Glasröhre vor der Gebläselampe erhalten, zeigt einige Modificationen in seiner Fähigkeit, Flüssigkeiten welche Adhäsion zur Masse des Gases besitzen, festzuhalten, wenn man es abwechselnd mit Flüssigkeitstropfen und kleinen dazwischen geschobenen Luftsäulen füllt, wie dies leicht gelingt, wenn man an dem einen Ende saugt, das andere rasch abwechselnd in Wasser taucht und über dasselbe emporhält. In einer solchen Weise angefüllt vermag ein kapillares Rohr in Summa eine *viel grössere Wassersäule zu tragen,* als wenn diese in voller Continuität von den Adhäsionskräften der Wandsubstanz getragen wird. Namentlich wird dieser Erfolg sichtbar, wenn zu unterst im Rohre ein Flüssigkeitstropfen haftet. Diese Erscheinung, obwohl sie vielleicht noch keine ausreichende theoretische Bearbeitung gefunden hat, ist jedenfalls aus dem Umstand zu erklären, dass der obere und untere Meniskus der einzelnen Flüssigkeitssäulchen eine verschiedene Gestaltung haben, und dadurch die Schwerkraft derselben überwunden und sie selbst vollkommen getragen werden können. *)

Die nemliche Erscheinung kann mit weit grösserer Regelmässigkeit hervorgerufen werden, wenn man an einer kapillaren Glasröhre abwechselnd Verengungen und Erweiterungen anbringt und in ihr Inneres eine zur völligen Anfüllung nicht ausreichende Menge von Wasser bringt. Hier sammelt sich die Feuchtigkeit beim Aufrechtstellen der Glasröhren nahe an deren engsten Stellen an (genau genommen im Durchschnitt ein wenig unterhalb derselben, wo die konische Erweiterung eben beginnt). So wird denn in diesem Falle die verschiedene Gestaltung des oberen und des untern Meniskus durch die verschiedene Weite des Röhrentheils, an dem sich die obere und die untere Grenzfläche des Wassertropfens befindet, nothwendig bestimmt, denn die Gestaltung des Meniskus ist unter Anderem eine Funktion der Röhrenweite; und die einzelnen Wassertropfen machen ihre Schwerkraft unter keinen Umständen mehr geltend. Es müsste also theoretisch für möglich erachtet werden, eine derartig beschaffene Röhre von *unendlicher Länge* auf diese Weise zu füllen, einer intermittirenden Wassersäule von unendlicher Länge auf diese Weise durch Kapillarkräfte das Gleichgewicht zu halten.

Derartig abwechselnd verengte und erweiterte continuirliche kapillare Hohlräume sind nun aber in den Pflanzen und Pflanzentheilen, um die es sich hier handelt, vielfach durch Anastomisiren von (ursprünglich durch eine später resorbirte Zellwand von einander getrennten) Zellräumen vorhanden.

Ein Nutzen dieses Vorkommens für die Saftleitung durch die Pflanze darf nun nicht etwa darin gesucht werden, dass solche intermittirende Flüssigkeitssäulen, wenn oben Feuchtigkeit verzehrt wird, gehoben werden könnten. Dies kann offenbar nach der gegebenen Darstellung nicht der Fall sein. Der Nutzen ist nur auf die

*) Der nach oben concave Meniskus der adhärirenden Flüssigkeiten und der nach unten convexe der nicht adhärirenden Flüssigkeiten vermindert scheinbar die Schwerkraft derselben, — der nach unten concave Meniskus der adhärirenden und der nach oben convexe der nicht adhärirenden Flüssigkeiten wirkt im gleichen Sinne wie die Schwerkraft. Die Grösse dieser Wirkung hängt von dem Grad der Abweichung des Meniskus von der Ebene ab. Hieraus ergibt sich leicht das im Text Gesagte.

Weise zu begreifen, dass solche intermittirende Flüssigkeitssäulen durch irgend welche Ursachen zu gewissen Jahreszeiten einmal in der Pflanze bestehen, dass dann die kapillar festgehaltenen Tropfen bei Temperaturveränderungen, namentlich durch die Volumveränderungen der eingeschlossenen Luft, ihren Ort wechseln und vermittelst der Imbibitionsfähigkeit der Gewebetheile etc. weiter geleitet werden können, dass auch wieder eine Ansammlung des Wassers an jenen verengten Stellen unter Umständen stattfinden wird und dass die ganze so gehobene Flüssigkeitsmasse auf die darunter liegenden Pflanzentheile sich nicht als ein hydrostatischer Druck bemerklich macht. Es soll indessen nicht geläugnet werden, dass es zur Stunde noch unthunlich ist, die einschlagenden Verhältnisse mit genügender Sicherheit zu überblicken.

Mit Berücksichtigung dieses weiteren Elements der Saftsteigung sind wir nun wohl im Stande, uns eine ziemlich vollständige Vorstellung zu bilden von der Art und Weise, wie das Wasser die höhere Luft-Pflanze durchströmt. Durch die Wurzel werden vermöge des osmotischen Apparats, den wir in derselben unter Umständen vorgefunden haben, gewisse Mengen von Wasser aus dem feuchten Boden aufgenommen und zu einer gewissen Höhe emporgehoben. Mag diese Höhe nun für verschiedene Pflanzen, Vegetationsstadien und Jahreszeiten eine ausserordentlich verschiedene sein, immer wird diese Wurzelkraft ausreichen, um Wasser bis in Gewebetheile der Pflanze zu bringen, wo eine kapillare Fortleitung ermöglicht ist, da das hier wesentlich in Betracht kommende Holzgewebe schon in der Wurzel in ziemlicher Nähe der äussersten Endigungen beginnt, und eine kapillare Leitung durch Zellwandungen ja überall möglich ist. Sind diese Gewebetheile einmal erreicht, so erscheint die Wurzelkraft allerdings noch als ein Beförderungsmittel der Safthebung, keineswegs als ein nothwendiges Erforderniss derselben.

Alle die Gewebetheile, die durch kapillar leitendes Zwischengewebe mit einander in Verbindung stehen, befinden sich, sie mögen nun örtlich übereinander oder sonst wie gelagert sein, dem hydrostatischem Druck gegenüber gewissermassen *auf gleichem Niveau.* Um zwischen ihnen Saft zu transportiren, ist kein besonderer Apparat erforderlich; hierzu reichen die Kapillarkräfte aus, die immer wieder durch andere Kräfte ausgelöst, von Neuem ihre Anziehung geltend machen.

So ist denn wässrige Flüssigkeit selbst durch hochliegende Gewebetheile des Gewächses verbreitet, und nun kommt jenes dritte Moment, die *Transpiration* hinzu, welche gewisse Gewebetheile stets an Wasser erschöpft und so dessen Nachfluss bewirkt.

Ein gutes Bild von dem Zusammenwirken jener verschiedenen Momente erhalten wir, wenn wir uns die Wurzelkraft als manchmal stärker, manchmal schwächer arbeitende Druckpumpen denken, die stetig bestrebt sind, ein mehr oder minder grosses Reservoir zu füllen, das in den durch kapillare Leitung verbundenen Gewebetheilen der Pflanze sich repräsentirt. An dieses selbe Reservoir sind dann eine Anzahl kleiner Saugpumpen, dargestellt durch die Transpiration, angebracht, durch deren Wirkung das Reservoir auf der andern Seite geleert wird.

Dieses Bild gibt uns nun eine vortreffliche Vorstellung von der Abhängigkeit der Saftfülle der Pflanze von der relativen Grösse jener einzelnen Momente. Die äussern Bedingungen, welche die Wurzelkraft einseitig begünstigen, als da sind eine

erhöhte Temperatur der Wurzelumgebung — des Bodens, eine grosse Wasserfülle desselben, werden eine Ueberfüllung des Reservoirs veranlassen, wenn die Saugpumpen zur gleichen Zeit verhältnissmässig unthätig sind. Unter solchen Umständen wird eine Pflanze von Saftfülle strotzen oder, wie man sich ausdrückt, eine grosse Turgescenz *) besitzen. Es sind namentlich die kühlen Morgen, wo die Verdunstung wegen niedriger Temperatur und Feuchtigkeit nur langsam vor sich geht, die Wurzelkraft aber wegen der verhältnissmässig höheren Wärme des Bodens eine erhebliche Grösse erreicht, wo diese Bedingungen erfüllt sind; und jene sind es auch, wo wir namentlich krautartige Pflanzen in voller Saftfülle strotzen sehen, und wo wir sogar Flüssigkeitstropfen in Folge der Wurzelkraft, da wo blattartige Organe im Bereiche dieser liegen, herausgepresst finden.

Das Umgekehrte — verhältnissmässige Saftleere, Welkheit wird natürlich eintreten müssen, wenn die Verdunstungskräfte ungewöhnlich begünstigt werden durch eine verhältnissmässig hohe Lufttemperatur und grosse Trockenheit der Atmosphäre. Dann werden die vielen kleinen Saugpumpen mit grosser Hast arbeiten, das Reservoir zu leeren, während die Wurzelkraft und die kapillare Wasserleitung nur sehr geringen Ersatz schaffen. **) Diese Bedingungen sind am Vollständigsten erfüllt an heissen trocknen Sommertagen, wo bei ausgetrocknetem Erdreich die neue Füllung des durch die ungeheuere Transpiration schnell sich entleerenden Reservoirs sehr langsam von Statten geht, und jene Tage sind es auch, wo wir die Pflanzen rasch welken sehen.

Die angestellte Betrachtung lehrt uns zugleich, neben diesen beinahe selbstverständlichen Verhältnissen, welch' ein Vortheil für ein Gewächs in der Grösse seines Feuchtigkeitsreservoirs liegen kann. Das vorwiegende Arbeiten jener Saug- oder Druckpumpen ist wesentlich abhängig von ganz ausserhalb der Pflanze liegenden, also in Bezug auf diese zufälligen Bedingungen. Die Differenzen, die durch die Ungleichmässigkeit jener Thätigkeit entstehen können und dem Lauf der Dinge nach entstehen werden, müssen natürlich um so mehr von dem pflanzlichen Organismus, der eines gewissen Wasserreichthums zum Vollzug seiner Funktionen nicht entrathen kann, empfunden werden, einen wie grösseren Bruchtheil diese Differenzen von dem ganzen Wasservorrath der Pflanze ausmachen. Es ist somit klar, dass ein Gewächs, welches ausgedehnte Gewebemassen besitzt, die vorzüglich dazu dienen können, grosse Wassermassen aufzuspeichern, weit unabhängiger von vorübergehenden nassen und namentlich trocknen Perioden sein wird, als ein solches, das im günstigsten Fall nur einen kleinen Wasservorrath besitzt, dessen es zudem zum Leben fast ganz und gar nothwendig bedarf. ***)

---

*) Dies schliesst selbstredend nicht aus, dass nicht auch Gewächse, welche keine erhebliche Wurzelkraft besitzen, diese Saftfülle zeigen, wenn der Boden feucht, die Verdunstung eine geringe ist.

**) Hierbei ist freilich zu berücksichtigen, dass eine vergrösserte Verdunstung auch die Wasseraufnahme durch die Wurzel, diese die Transpiration etwas beschleunigen wird, da beide Kräfte nicht, wie wir Dies der Einfachheit wegen angenommen haben, völlig aus dem Bereich der andern liegen.

***) In gleichem Sinne regulirend jenen ungünstigen äusseren Bedingungen gegenüber

Aus diesem Grunde sehen wir unsere grösseren Bäume mit ihren ausgedehnten Holzmassen, welche grosse Mengen von Wasser in sich aufzunehmen vermögen, aber ohne jeden Schaden auch wieder abzugeben sich bereit finden lassen, die trockene Jahreszeit mit voller Frische und Turgescenz der laubartigen Organe überdauern, während die krautartigen Gewächse unter den gleichen ungünstigen Umständen bald die Blätter sinken lassen und vollständig welk und schlaff erscheinen.

So ungefähr haben wir uns das Zustandekommen des grossen Saftstroms durch die Luft-Pflanze zu denken. Während bei der Wasserpflanze die ganze Aufnahme von tropfbaren Flüssigkeiten durch osmotische Vorgänge (ausserdem vielleicht noch durch Gewebespannung) erklärt werden muss, wirken bei den an der Grenze zweier Medien sich befindenden Luftpflanzen eine grössere Anzahl von Umständen zusammen, und namentlich wird die Erscheinung durch Hinzutreten der Verdunstung eine complicirtere. Ein Wasserstrom durchfliesst stetig von Unten nach oben die Luftpflanze, und hierin ist, ganz abgesehen von spezifischen osmotischen Kräften, ein Moment gegeben *zur Anhäufung von sämmtlichen im aufgenommenen Wasser gelösten Stoffe im Pflanzenleibe.* Die osmotischen Wirkungen, die beim Uebergang dieser gelösten Stoffe in die Wurzel sich geltend machen müssen, modificiren diese Aufnahme natürlich in mannigfaltiger Weise, aber sie sind nicht wie bei den Wasserpflanzen *die einzige Veranlassung zu deren Aufnahme.*

Mit den Gesetzen der Aufnahme dieser gelösten Stoffe durch die Wurzeln werden wir uns in der nächsten Vorlesung zu beschäftigen haben; hier war es nothwendig, die Kenntniss des Wasserstroms, der in der Luftpflanze sich geltend macht, vorauszuschicken.

Einundzwanzigste Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Die Stoffaufnahme durch die Wurzel der Luftpflanze.

Es ist aus der hinter uns liegenden Darstellung klar, dass die im Bodenwasser, mit dem die Wurzel der Landpflanze in Berührung tritt, gelösten Stoffe auch ohne spezifische osmotische Anziehungskräfte, d. h. wenn sie sich in Bezug auf die Aufnahme nicht anders verhielten wie das Wasser selbst, fort und fort mit demselben aufgenommen werden müssten. Da nun aber das Wasser durch Verdunstung stetig entweicht, so würde in den dargelegten Verhältnissen ein Moment bestehen zur Anhäufung jener Stoffe in der Pflanze, nach demselben Schema, wie sich in einem Kessel, in dem man stets von Neuem Wasser verdampft, nach und nach durch Anhäufung solcher gelöst gewesener Stoffe eine Kruste ansetzt.

---

wirken einige in der letzten Vorlesung besprochene Einrichtungen, wie Oeffnen und Schliessen der Spaltöffnungen unter dem Einfluss der Turgescenz.

Die Aufnahme der gelösten Stoffe durch die Wurzel der Landpflanze findet aber nun nicht einfach in dieser Weise statt. Natürlich machen sich bei diesem Process die *spezifischen* osmotischen Kräfte der einzelnen gelösten Stoffe geltend; namentlich würde auch bei Anhäufung dieser Stoffe in der Pflanze, vorerst vorausgesetzt dass keine chemische Veränderung erfolgt, sich sehr bald ein sogenannter osmotischer Gegendruck fühlbar machen (der für das Wasser wegen der eintretenden Verdunstung nicht vorhanden ist) und auf diese Weise schon eine Modificirung der Aufnahme entstehen. Allein das neue Moment, das durch die Möglichkeit der Wasserverdunstung aus den oberirdischen Organen dazu gebracht wird, kann offenbar als ein *Beförderungsmittel* der rein osmotischen Stoffaufnahme angesehen werden. Tritt innerhalb der Pflanze eine chemische Verarbeitung des aufgenommenen Stoffs ein, so dass sich ein osmotischer Gegendruck nicht geltend macht, so ist einem solchen Stoff in der Landpflanze *ein gewisser Vorsprung* gewährt, und auch solche Substanzen, die im Bodenwasser vorhanden sind und nicht in der Pflanze verarbeitet werden, können sich offenbar in der Luftpflanze weit mehr anhäufen, als Dies in der untergetauchten Wasserpflanze, wo jenes Verdunstungsmoment ganz fehlt, je der Fall sein kann.

Wir werden hiernach in den Luftpflanzen eine weit grössere Menge zufälliger Bestandtheile zu erwarten haben, als in der untergetauchten Wasserpflanze, wo der osmotische Gegendruck eines jeden nicht verarbeiteten Stoffs rasch fühlbar werden muss. — Dieser Fingerzeig ist wohl zu beachten bei Schlüssen über die Bedeutung einzelner Aschenbestandtheile aus deren Befund.

Soweit war die Frage nach der Stoffaufnahme durch die Wurzel der Luftpflanze einer deduktiven Behandlung auf Grund der bis jetzt in jener Richtung erkannten allgemeinen Gesetzmässigkeiten fähig. Es liegen nun eine Reihe von experimentellen Arbeiten über denselben Gegenstand vor, deren Resultate theilweise als Bestätigung jener Folgerungen dienen können, theilweise vielleicht auch als noch nicht zurückführbar auf elementarere Vorgänge angesehen werden müssen.

Es ist zuerst wieder der berühmte und vielgenannte de Saussure*) gewesen, der jene Aufnahmgesetze experimentell an einzelnen Luftpflanzen zu studiren begann. Die Resultate seiner Experimente sind zwar vielfach fehlerhaft (namentlich weil die Wasserkultur, die zur Anstellung dahin gerichteter Versuche absolut unerlässlich erscheint, zu seiner Zeit noch nicht genügend ausgebildet war) und die von ihm aufgestellten Gesetzmässigkeiten einseitig und nur unter gewissen Voraussetzungen richtig. Dennoch müssen wir auf diese Untersuchungen etwas näher eingehen, da die spätern über denselben Gegenstand sich an jene anknüpfen.

De Saussure verwendete zu seinen Versuchen Lösungen sehr verschiedener Mineralsalze und organischer Stoffe, jeweils in einer Concentration von über 8 Promille**), also etwas concentrirtere Lösungen, als der Pflanzenwurzel bei der Wasserkultur zweckmässiger Weise gereicht werden, und, wie wir hinzusetzen können, concentrirtere, als in der Ackererde unter natürlichen Verhältnissen jemals angenommen werden dürfen.

*) Recherches chimiques sur la végét. 1804 p. 251.

**) 12 Gran Substanz auf 40 Cub. Zoll destillirten Wassers.

Die angewandten Stoffe waren:

1) Chlorkalium,	6) essigsaurer Kalk,
2) Chlornatrium,	7) schwefelsaures Kupferoxyd,
3) salpetersaurer Kalk,	8) Rohrzucker,
4) schwefelsaures Natron,	9) arabisches Gummi,
5) Chlorammonium,	10) Dammerdeextrakt,

also ein buntes Gemisch von Substanzen, die theilweise, wie wir heute wissen, pflanzliche Nährstoffe sind, theilweise für die Pflanze gleichgültige, theilweise für sie giftige Stoffe sind.

In die Lösungen dieser Substanzen wurden junge Pflanzen gesetzt, die mit den Wurzeln aus der Erde, in der sie gewachsen waren, genommen, Anfangs in destillirtes Wasser, bis dort die Wurzelspitzen sich zu verlängern begannen, gesetzt und schliesslich in die betreffenden Lösungen gebracht worden waren. Als Versuchspflanzen dienten Polygonum Persicaria und Bidens cannabina. Dieselben blieben so lange in diesen Lösungen, bis das Volum dieser sich auf die Hälfte vermindert hatte. Aus der Analyse der rückständigen Flüssigkeit, welche bei gleichmässiger Aufnahme des gelösten Stoffes und des Lösungswassers, genau die Hälfte der ursprünglich verabreichten Stoffe hätte anzeigen müssen, konnten indessen berechnet werden, dass statt 50 % folgende Mengen der einzelnen Stoffe aufgenommen worden waren:

	bei Polygonum Persicaria,	bei Bidens cannabina
von Chlorkalium	nur 14,7 %	16,0 %
„ Chlornatrium	„ 13,0 „	15,0 „
„ Chlorammonium	„ 12,0 „	17,0 „
„ salpetersaurer Kalk	„ 4,0 „	8,0 „
„ schwefelsaures Kupferoxyd	„ 47,0 „	48,0 „
„ arabisches Gummi	„ 9,0 „	8,0 „

so dass also die in die Pflanze übergegangenen Lösungen, mit Ausnahme der Kupfervitriollösung, weit verdünnter waren, als die ursprünglich verabreichten.

De Saussure, der ausserdem noch eine Reihe von Versuchen mit mehreren gelösten Stoffen in einer und derselben Lösung ausführte, glaubte sich auf Grund seiner experimentellen Forschungen zu folgenden Aussprüchen berechtigt.

1) „Die Wurzeln der Pflanzen absorbiren die Salze und Extrakte immer in geringeren Verhältnissen, als das Wasser, welches diese Salze und Extrakte aufgelöst enthält."

2) „Das Durchschneiden der Wurzeln, ihre Zersetzung und im Allgemeinen die Mattigkeit der Vegetation begünstigen das Eindringen der Salze und Extrakte durch die Wurzeln der Pflanzen."

3) „Ein Gewächs saugt nicht in gleichem Verhältniss alle in der nemlichen Auflösung zugleich enthaltenen Substanzen ein: es macht besondere Abscheidungen; es absorbirt diejenigen Substanzen in grösserer Menge, deren Auflösungen einzeln betrachtet weniger klebrig sind." *)

*) A. a. O. Cap. VIII, und Landw. Versuchsst. 1864 p. 204.

Der erste dieser drei Sätze ist unter dem Namen des de Saussur'schen Gesetzes bekannt, und wir werden auf denselben bei Besprechung der späteren Versuche wieder zurückkommen.

Die de Saussur'schen Versuchsresultate, die wegen der unvollkommenen Methode, nach der sie erlangt sind, nichts weniger, als zu detailirteren Schlussfolgerungen geeignet erscheinen, vermögen immerhin schon mit vollkommener Deutlichkeit zu zeigen, dass die Luftpflanzen die Lösungen, welche ihren Wurzeln dargeboten werden, nicht als solche aufsaugen, sondern unter gewissen Umständen das Wasser in einem ganz anderen Verhältniss aufnehmen, als die in ihm gelösten Stoffe, und dass wiederum die gelösten Stoffe je nach ihrer spezifischen Natur und der der Pflanze in ganz verschiedenen Verhältnissen aufgenommen werden.

Diese Thatsachen sind nach der früher gemachten Herleitung leicht verständlich. Wir dürfen uns die Stoffaufnahme nicht einfach als in Folge des Wasserstroms, der durch die Luftpflanze continuirlich hindurch geht, stattfindend denken, sondern wir haben es neben diesem mit andern Faktoren der Stoffaufnahme zu thun, mit den osmotischen Kräften und mit der chemischen Verarbeitung des Aufgenommenen. Wir haben vorhin gesagt, dass, würde keiner der aufgenommenen Stoffe in dem pflanzlichen Gewebe durch physiologische Veränderungen seine Eigenschaften, die ihn zu Diffusionsvorgängen befähigen, verlieren, sich in den Wurzelzellen sehr bald ein osmotischer Gegendruck fühlbar machen, und der betreffende Stoff in stetig sich vermindernden Mengen aufgenommen werden müsste, und umgekehrt. Die Mitwirkung dieser Faktoren macht sich schon deutlich in den von de Saussure ermittelten Verhältnissen geltend.

Die von diesem Forscher aufgeworfenen Fragen haben dann aus leicht fasslichen Gründen mehrere Jahrzehnte hindurch keine erneute Bearbeitung gefunden. Es handelte sich selbstredend erst darum, einen Begriff von den Nährstoffen der Pflanze zu bekommen, ehe man Interesse daran finden konnte, nach den Gesetzen der Aufnahme von Stoffen durch die Pflanze zu fragen. Es ist überhaupt im Wesentlichen hier nur noch auf die Arbeiten von Knop und W. Wolf Rücksicht zu nehmen, da die wenigen ältern *) Nichts Erhebliches zur Lösung der aufgeworfenen Frage beigetragen haben.

Bei den Versuchen der genannten beiden Experimentatoren wurden die Fehler, welche von de Saussure begangen worden waren, und die wesentlich darin bestanden hatten, dass dieser mit Pflanzen arbeitete, welche aus der Erde genommen worden und also durch mannigfache Zerreissungen der Wurzelhaare verletzt und zu Aufnahmsversuchen untauglich geworden waren, völlig vermieden, und die Versuchspflanzen vom Keimungsstadium an in *wässrigen Medien* kultivirt.

Schon einige vor diesen eigenthümlichen Versuchen von Knop erlangten Resultate machten es wahrscheinlich, dass das sogenannte de Saussure'sche Gesetz der Stoffaufnahme durch die Wurzel nicht immer zutreffend sei, d. h. dass auch unter bestimmten Verhältnissen mehr Salze aus der Lösung in die Pflanze übergehen

---

*) Als solche sind zu nennen Schlossberger (Annal. d. Chem. und Pharm. B. 81. p. 172 und Herth (ebenda B. 89 p. 334).

**) Landw. Versuchsst. 1859 p. 193.

könnten, als dem aufgenommenen Wasser entspräche, und so eine verdünntere Lösung als die ursprünglich verabreichte übrig bleiben könne. Die sehr ausgedehnten W. Wolf'schen Versuche *) haben diesen Satz zur vollen Gewissheit erhoben und gezeigt, dass das de Saussure'sche *Gesetz nur der Ausdruck eines speziellen Falles,* in jener allgemeinen Form aber durchaus *unrichtig* **) ist.

Die Wolf'schen Versuche sind mit Bohnen- und Mais-Pflanzen und mit Lösungen von einem und von mehreren Salzen, die alle als mineralische Pflanzennährstoffe betrachtet werden konnten, ausgeführt worden.

Die allgemeinsten und wichtigsten Resultate dieser Versuche sind folgende:

1) Ganz abgesehen von der Eigenart der Pflanze und des in der Lösung gebotenen Salzes wird relativ um so *mehr Salz* aus der Lösung aufgenommen, *je verdünnter dieselbe ist.*

   Geht man unter eine gewisse, für verschiedene Salze sehr verschiedene, Concentration herab, so findet die Aufnahme der gelösten Stoffe *umgekehrt wie nach dem* de Saussure'schen *Gesetze statt*, d. h. es wird von demselben verhältnissmässig mehr aufgenommen als vom Lösungswasser, so dass eine verdünntere Lösung als die ursprünglich verabreichte zurückbleibt. Dies kann sogar so weit gehen, dass eine Lösung mit der Hälfte des Wasservolums schon die ganze Menge des gelösten Stoffes an die Pflanze abgibt, so dass also das noch restirende halbe Volum der Flüssigkeit absolut an dem betreffenden Bestandtheil erschöpft ist.

2) Verabreicht man der Pflanze gleichzeitig verschiedene Salze in einer und derselben Lösung, so übt häufig *die Anwesenheit des einen Salzes einen lebhaften Einfluss auf die Aufnahme des andern aus.* Dieser Einfluss ist bald ein die Aufnahme *beschleunigender*, bald ein dieselbe *verzögernder.*

3) Entfernt man eine Pflanze aus der Lösung und bringt sie mit den Wurzeln in destillirtes Wasser, so werden die einmal aufgenommenen Stoffe vielfach *mit grosser Zähigkeit festgehalten* und nicht an das Wasser abgegeben.

Diese Resultate sind ebenso nach den früher angestellten Betrachtungen ziemlich leicht verständlich. Wenn die Lösung, die die Wurzeln umspült, nicht einfach in Folge des Wasserstroms, der durch die Pflanze hindurchgeht, als solche aufgenommen wird, sondern noch andere Kräfte bei dieser Aufnahme mitwirken, so kann man leicht begreifen, dass verdünntere Lösungen an denjenigen Stoffen, die in der Pflanze verarbeitet werden ***) und so ihres osmotischen Gegendrucks verlustig gehen, mehr erschöpft werden als concentrirtere, denn die aufgenommenen Stoffe werden nur bis zu einer gewissen Grenze in der Pflanze Verwendung finden können, so dass die höhere Concentration unter Umständen nur eine unbedeutende Steigerung der Aufnahme veranlassen kann. Etwas Aehnliches auch auf eine chemische Verarbeitung Hindeutendes zeigt dann auch Satz 3), insofern aus den in destillirtes

*) Ebenda 1864 p. 203 u. 1865 p. 193.

**) Dass das sogenannte de Saussure'sche Gesetz für die Stoffaufnahme der untergetauchten Wasserpflanzen unrichtig sein musste, ergibt sich aus Vergleichung der Analysen dieser Pflanzen mit der des umgebenden Wassers sofort.

***) Und um solche handelte es sich vorzugsweise bei den Wolf'schen Versuchen.

Wasser versetzten Wurzeln sehr schnell wieder der grösste Theil der aufgenommenen Stoffe osmotisch entweichen müsste, wäre nicht eine chemische Veränderung in eine colloïdale Form die Ursache des zähen Festhaltens.

Dass die Aufnahme irgend eines Stoffes durch die Anwesenheit irgend eines andern in der gleichen Lösung beeinträchtigt oder befördert werden kann, erklärt sich ziemlich natürlich aus folgenden, uns theilweise schon geläufigen Gesichtspunkten. Einmal wird die Verdunstungsgrösse irgend einer Pflanze durch die Zufuhr von salzartigen Stoffen durch die Wurzeln, wie wir früher gesehen haben, herabgedrückt. *) Es ist unnöthig, die Ursache dieses Verhaltens hier nochmals zu erläutern. Mit der Verdunstungsgrösse fällt aber selbstredend die Intensität des gesammten Wasserstroms und mit diesem die Stärke des Impulses zur Flüssigkeitsaufnahme durch die Wurzeln. Dieses Verhalten würde also die Abschwächung der Aufnahme eines Salzes durch das gleichzeitige Vorhandensein eines andern erklären.

Allein es gibt auch Gesichtspunkte, welche die umgekehrte Beeinflussung unserem Verständnisse näher rücken. Eine Pflanze, die in der Lösung eines einzigen Salzes vegetirt, ist natürlich nur kurze Zeit zur Assimilation und zur physiologischen Verarbeitung dieses Salzes, wenn es auch ein wahrer Nährstoff der Pflanze ist, befähigt, einfach weil viele andere Stoffe fehlen, die zu gewissen unentbehrlichen Funktionen in Beziehung stehen. Es ist nun einleuchtend, dass immer diejenigen Stoffe, deren Fehlen durch sekundäre Wirkungen auf die Verarbeitung anderer Stoffe schädigend einwirkt, die Aufnahme dieser beschleunigen wird. **)

Aus diesen beiden Gesichtspunkten muss man zu erklären suchen, warum ein Stoff die Aufnahme eines andern in der einen oder der andern Weise modificirt.

Wir wollen indessen noch etwas näher auf die Details der Wolf'schen Resultate eingehen und dieselben theilweise in tabellarischer Uebersicht uns im Einzelnen vorführen.

Versuche mit Feuerbohnen.

Das angewendete Salz.	Concentration der verabreichten Flüssigkeit.	Concentration der von der Pflanze aufgenommenen ***) Flüssigkeit.
Salpetersaures Kali	0,250 %	0,174 %
" "	0,100 %	0,109 %
" "	0,075 %	0,107 %
" "	0,050 %	0,114 %
" "	0,025 %	0,031 %
Salpetersaures Ammoniak	0,246 %	0,337 %
" "	0,098 %	0,110 %
" "	0,049 %	0,093 %
" "	0,025 %	0,039 %

*) Siehe die neunzehnte Vorlesung p. 322.

**) Es geht zugleich hieraus hervor, dass die Wolf'schen Versuche, so wichtig ihre einmalige Anstellung erscheinen mag, doch nicht eine Methode repräsentiren, nach der Etwas Endgültiges über die Gesetze der Stoffaufnahme ermittelt werden kann, da bei diesem Verfahren ein jeder Nährstoff, einzeln oder auch mit einem andern zusammen gereicht, nicht unter den normalen Bedingungen der Assimilation von der Pflanze aufgenommen wird.

***) In gleichen Zeiten für alle einzelnen Versuchspflanzen.

Salpetersaurer Kalk	0,503 %	0,308 %
„ „	0,252 %	0,162 %
„ „	0,101 %	0,085 %
„ „	0,075 %	0,046 %
„ „	0,050 %	0,033 %
„ „	0,025 %	0,017 %
Schwefelsaures Kali	0,250 %	0,118 %
„ „	0,100 %	0,069 %
„ „	0,050 %	0,035 %
„ „	0,025 %	0,019 %
Schwefelsaures Ammoniak	0,050 %	0,030 %
„ „	0,025 %	0,019 %
Schwefelsaurer Kalk	0,208 %	0,107 %
„ „	0,104 %	0,057 %
„ „	0,052 %	0,066 %
„ „	0,026 %	0,035 %
Phosphorsaures Kali	0,250 %	0,179 %
„ „	0,100 %	0,077 %
„ „	0,050 %	0,058 %
„ „	0,025 %	0,033 %
Phosphorsaures Ammoniak	0,231 %	0,129 %
„ „	0,093 %	0,043 %
„ „	0,023 %	0,026 %
Chlorkalium	0,050 %	0,031 %
„	0,025 %	0,024 %
Salmiak	0,050 %	0,040 %
„	0,025 %	0,025 % *)

Es gelingt in der gegebenen Tabelle mit leichter Mühe, durch Vergleichung der beiden correspondirenden Zahlen, zu sehen, ob die Aufnahme der gelösten Stoffe nach dem de Saussure'schen Gesetze erfolgt ist, ob nicht. Ist die rechtsstehende Zahl grösser als die linksstehende, so ist die Aufnahme jenem Gesetze entgegen vor sich gegangen. In der That trifft dies bei vielen Salzen für mehrere Concentrationsstufen zu, doch ist die Concentrationsgrenze, wo sich das Aufnahmsgesetz umdreht, für verschiedene Salze ein sehr verschiedenes.

Die *salpetersauren Salze* wurden im Allgemeinen mit grosser Energie aufgenommen, so dass beim salpetersauren Ammoniak, auch bei dem höchsten der angewendeten Concentrationen, das Salz in einem stärkeren Verhältniss in die Wurzel

*) Die in einer zweiten Reihe angegebenen Zahlen, die nach einer etwas abweichenden Methode ermittelt wurden, sind ganz ähnlich diesen hier.

überging, als es in der Lösung vorhanden war. Beim salpetersauren Kali liegt die Grenze, wo gerade die Aufnahme der unveränderten Lösung erfolgte, etwa bei 1 Promille; und nur der salpetersaure Kalk wurde bis zu den schwächsten Concentrationen von 1/4 Promille nach dem de Saussure'schen Gesetze aufgenommen.

Die schwefelsauren Salze zeigten im Allgemeinen eine geringere Aufnahmsfähigkeit als die salpetersauren. Schwefelsaures Kali und Ammoniak wurden bis herab zu der schwächsten Concentration in verdünnterer Lösung aufgenommen, als sie der Wurzel geboten wurden, und hier zeichnete sich der schwefelsaure Kalk im umgekehrten Sinne aus, indem derselbe von 1/2 Promille an in stärkerem Verhältniss, als das dazu gehörige Wasser aufgesogen wurde. Aehnlich wie die schwefelsauren Salze verhielten sich auch die phosphorsauren. *)

Es darf nun selbstverständlich nicht erwartet werden, dass die so ermittelten Resultate, die zudem noch für jede Pflanze in verschiedener Weise sich dargestellt haben würden, ohne Weiteres einer theoretischen Deutung fähig wären. Dies würde selbst kaum möglich sein, wenn die ganze vorliegende Erscheinung sich aus Nichts weiter zusammensetzte, als aus osmotischen und Verdunstungs-Vorgängen. Wir wissen, dass ausserdem die geheimnissvollen Processe der chemischen Umänderung der aufgenommenen Stoffe, von welchen wir uns zur Zeit nur einen sehr unvollkommenen Begriff bilden können, und von denen es entfernt nicht zu erwarten steht, dass es in Bälde möglich sein wird, sie auf elementare chemische Vorgänge zurückzuführen, unter den die Aufnahme bestimmenden Umständen eine ganz wesentliche Rolle spielen, und haben es somit mit einer complexen Erscheinung zu thun, die wir vor der Hand nur als Thatsache hinnehmen können, ohne hoffen zu dürfen, sie in ihrer Gesammtheit zu begreifen. Es erscheint desshalb auch zwecklos, weiter auf die Einzelheiten der ermittelten Thatsachen einzugehen. Nur ist noch besonders hervorzuheben, dass von allen Salzen, mit denen experimentirt wurde, das salpetersaure Ammoniak weitaus in dem stärksten Verhältnisse, auch aus ziemlich concentrirten Lösungen in viel stärkerem Verhältnisse, als das Lösungswasser, aufgenommen wurde. Diese Thatsache kann in ganz zwangloser Weise so gedeutet werden, dass das in Rede stehende Salz innerhalb des pflanzlichen Organismus rasch zu stickstoffhaltigen organischen Stoffen verarbeitet werden kann **), und hiezu Base und Säure *in gleicher Weise* Verwendung findet, während bei allen andern Salzen, der eine Bestandtheil, so viel wir vermuthen können, zu ganz anderen Zwecken verwandt wird, als der andere, und so die Verarbeitung des einen Stoffs von der Möglichkeit der Verarbeitung des

*) Die Resultate bei einer andern Versuchspflanze waren im Grossen und Ganzen dieselben; nur wurde der schwefelsaure Kalk von diesen Pflanzen in sehr viel geringerem Verhältniss aufgenommen.

**) Hierbei ist freilich die Angabe Wolf's nicht ausser Augen zu lassen, dass seine Versuchspflanzen weder eine Zunahme an organischer Substanz im Ganzen zeigten, und ausserdem die Anwesenheit der verschiedenen verabreichten salpetersauren Salze im pflanzlichen Gewebe als solche sich bekundete, indem die in den Lösungen gezogenen Pflanzen unter Funkensprühen verbrannten (vergl. Versuchsst. 1864 p. 221); doch erscheint mir trotzdem die Deutung auf eine theilweise Verarbeitung nothwendig, da sich die betreffenden Pflanzen üppiger entfalteten (vergl. ebenda p. 218).

andern abhängig ist. Es gewährt diese Beziehung wenigstens einen Fingerzeig, wenn auch davor gewarnt werden muss in derartigen Vermuthungen allzu fruchtbar zu sein. *) **)

Aus den weiteren Wolf'schen Untersuchungen über die Stoffaufnahme junger Mais- und Bohnen-Pflanzen aus Lösungen, die je 2 Salze enthielten, ***) lässt sich neben der vollkommenen Bestätigung der früheren Resultate der Schluss machen, den wir schon vorausgeschickt haben, *dass die Aufnahme einzelner Salze durch die gleichzeitige Anwesenheit eines andern wesentlich modificirt* und, wie wir hinzusetzen können, wenn es sich um Salze handelt, die als Nährstoffe dienen können, *in der Regel beschleunigt wird.*

Es liegt nun nicht im Plane unserer Darstellung, diese Erfahrung bis in alle Einzelheiten zu verfolgen, da sich jene Einwirkung bei unserer ziemlichen Unbekanntschaft mit den Funktionen der einzelnen Nährstoffe nicht in jedem speziellen Falle erklären lässt. Wir theilen daher Nichts von den umfangreichen Tabellen, in denen diese Versuchsresultate dargestellt sind, mit, sondern begnügen uns hier mit einigen wenigen Angaben, theils um einige Beispiele herauszugreifen, theils weil dieselben ein gewisses praktisches Interesse darbieten und später wieder benutzt werden sollen.

„Die Pflanzen nehmen die Kali- und Ammoniak-Salze, wenn in der Lösung „zugleich ein Kalksalz vorhanden ist, in weit grösserer Menge auf, als sie das „aus einfachen Salzlösungen dieser Basen thun.“ †)

„Selbst das schwefelsaure Kali und das schwefelsaure Ammoniak, welche Salze „aus einfachen Salzlösungen nur nach dem Saussure'schen Gesetze in die „Pflanze übergehen, werden bei Gegenwart eines Kalksalzes in weit höherem „Masse aufgenommen.“

„Die verdünntesten Auflösungen der Salzgemische von salpetersaurem Kali „mit salpetersaurem Kalk oder salpetersaurer Magnesia wurden sogar, bis die „Hälfte des verabreichten Flüssigkeitsvolum in die Pflanze übergegangen war, „völlig an ersterem Salze erschöpft.“

Diese Beziehungen, deren theoretische Bedeutung im Detail zu interpretiren, wir gänzlich unterlassen wollen, haben, wie wir schon jetzt ahnen können, eine hohe praktische Bedeutung für die Massregeln der Düngung — ein Gegenstand, auf den wir im zweiten Theil dieser Vorlesungen zurückzukommen nicht ermangeln werden.

Neben diesen Untersuchungen über die Stoffaufnahme der Landpflanzen von

*) Ueber die eigenthümlichen Wirkungen der verschiedenen Salzlösungen auf Wurzelausbildung und sonstigen Habitus (vergl. die Originalabhandlung a. a. O.)

**) Es dürfte hier ausserdem die Bemerkung Platz finden, dass die bevorzugte Aufnahme irgend eines zwei pflanzliche Nährstoffe enthaltenden Salzes vor andern ähnlich constituirten, wie des salpetersauren Kali's, des schwefelsauren Kalks vor andern salpetersauren und schwefelsauren Salzen vielleicht auf das Ineinandergreifen der resp. physiologischen Processe, zu denen solche zwei Nährstoffe in Beziehung stehen, gedeutet werden dürften. Es scheint dies wenigstens ein für künftige Untersuchungen fruchtbarer Gesichtspunkt zu sein.

***) Landw. Versuchsst. 1865 p. 193.

†) Vergl. ebenda p. 202.

Wolf verdienen, wie gesagt, nur noch die Knop'schen*) Versuche eine eingehendere Betrachtung. — Dieselben sind, wenn man näher zusieht, nach einer ganz anderen Methode angestellt, wie jene. Knop ging bei seinen dahin gerichteten Versuchen von dem Grundsatze aus, die Pflanzen in sogenannten „vollständigen" Nährstofflösungen nach der gewöhnlichen Methode der Wasserkultur zu erziehen, dabei aber gleichzeitig *die quantitativen Verhältnisse der Nährstoffaufnahme zu berücksichtigen.*

Offenbar ist dies ein Versuchsplan, der sehr weit von dem ursprünglichen de Saussure'schen abweicht. Dieser wollte die Stoffaufnahme als rein physikalischen Process studiren, und hat darum alle möglichen gelösten Stoffe verwendet, wenn er auch von denselben wusste, dass sie unmöglich Nährstoffe sein konnten. Knop hatte die Meinung, dass man es in der Stoffaufnahme mit einem rein physikalischen und elementaren Process zu thun habe, längst aufgegeben und studirte *die ganze complexe Erscheinung,* aber *unter annähernd normaler Ernährung* der Versuchspflanzen, während Wolf's Meinung (wenigstens bei Beginn seiner Versuche) und Versuchsplan wohl zwischen Beiden in der Mitte stand.

Daraus geht hervor, dass wir aus den Knop'schen Versuchsresultaten zwar uns ziemlich genaue Vorstellungen bilden können *über die thatsächlich bestehenden Verhältnisse der Stoffaufnahme, dass aber aus denselben viel schwieriger ein Schluss zu machen ist, auf die elementaren Faktoren der Stoffaufnahme.* Auch hier werden wir nur die allgemeinsten und wichtigsten Resultate der genannten experimentellen Forschungen mitzutheilen haben, da sich selten eine Gelegenheit finden würde, belehrende Betrachtungen an dieselben anzuknüpfen.

Aus seinen vielfachen quantitativen Wasserkulturversuchen, die mit Buchweizen, Mais, Hafer etc. angestellt worden sind, zieht Knop unter Anderem folgende endgültige Schlüsse: **)

> „Das Kali kann die Pflanze einer Lösung, die in früher angegebener***) Weise zusammengesetzt war und 1 Promille salpetersauren Kalk auf je ¼ pro Mille salpetersaures und phosphorsaures Kali und Bittersalz, dazu etwas aufgeschlemmtes phosphorsaures Eisenoxyd enthielt, „vollständig entziehen."
>
> „Kalkerde und Talkerde können der Lösung unter keiner Bedingung entzogen werden, weil die Wurzel diese Basen als kohlensaure (Salze) an die Lösung ausserhalb derselben zurückliefert."
>
> „Die Salpetersäure wird unter allen Umständen aus der Lösung (scil. vollständig) aufgenommen."

u. s. w. für jeden einzelnen Nährstoff. Dann weiter unten:

> „Die Körper, welche die Wurzel einer Lösung bis zur letzten Spur entziehen kann, so dass der ausserhalb der Wurzel befindliche Rest, während er von

---

*) Zusammengestellt in dessen Kreisl. d. Stoffs. II. p. 239—258; vereinzelt in Originalabhandlungen in den Landw. Versuchsst. ab 1861.

**) Landw. Versuchsst. 1865 p. 106.

***) Siehe die siebzehnte Vorlesung.

Stunde zu Stunde in dem Masse wie die Pflanze die Lösung aufsaugt, kleiner wird, immer fort ärmer an Stoff wird, sind: *)

Kali, Salpetersäure, Phosphorsäure, Schwefelsäure."

„Die Körper, an denen der eben besprochene Rest unter allen Umständen bei hinreichender Dauer des Versuchs, d. h. starker Verkleinerung der Reste concentrirter wird, sind:

Kalkerde, Talkerde, und die Schwefelsäure häufig."

Diese Resultate, zusammengehalten mit den aus den Wolf'schen Versuchen abgeleiteten, lehren, dass der Uebergang einzelner Salze in die Pflanzenwurzel, die schon *durch die gleichzeitige Anwesenheit einzelner anderer Salze beschleunigt wird, ein noch vollständigerer wird, wenn durch die gleichzeitige Anwesenheit einer grösseren Anzahl von Salzen* die gebotene Lösung zu einer normalen Wurzelernährung ausreichend ist. Um so mehr haben wir ein Recht, zu schliessen, dass die die Aufnahme begünstigenden Stoffe dadurch wirken, dass sie eine allseitige chemisch physiologische Thätigkeit durch die vollkommnere Ernährung ermöglichen und so der Verarbeitung der aufgenommenen Stoffe, die wir als das wesentlichste Moment der Vernichtung des osmotischen Gegendrucks und damit der erneuten Möglichkeit der Aufnahme betrachtet haben, Vorschub leisten.

Aus der ganzen gegebenen Darstellung der Stoffaufnahme bei Luftpflanzen ist zu ersehen, wie trotzdem, dass bei derselben gegenüber der Stoffaufnahme der untergetauchten Wasserpflanze oder auch der des quellenden und keimenden Samens ein neues Moment, das der Wasserverdunstung durch die oberirdischen Pflanzentheile in Betracht kommt, und so in hohem Grade die Möglichkeit eröffnet wird, **) dass neben Stoffen, die eine chemische Veränderung innerhalb der Pflanze erfahren, auch solche aufgenommen werden können, die wir als ganz nutzlose und rein zufällige Bestandtheile derselben anzusehen berechtigt sind, doch die dort wirkenden Momente auch bei der Stoffaufnahme durch die Wurzel der Luftpflanze eine ganz hervorragende Rolle spielen, so dass die Assimilation gelöster Stoffe bei jenen so verschieden begabten Organismen mehr Uebereinstimmung zeigt, als es auf den ersten Anblick erscheinen möchte. Der ganze Verdunstungsapparat würde bezüglich der Stoffaufnahme durch die Wurzel Nichts sehr Erhebliches zu leisten im Stande sein,

---

*) Es mag auch schon hier die Bemerkung Platz finden, dass in der Natur die Stoffaufnahme durch die Wurzeln der Landpflanzen, soweit sie aus den sehr verdünnten Bodenlösungen erfolgt, für die meisten Pflanzennährstoffe wohl niemals nach dem sogenannten de Saussure'schen Gesetze stattfinden wird.

**) Auf diese Einwirkung der Verdunstungserscheinungen auf die Stoffaufnahme der Pflanzen werfen die jüngst von Schlösing veröffentlichten Versuche, nach welchen Pflanzen (Tabak) vergleichungsweise bei lebhafter und sehr gehemmter Transpiration erzogen wurden, ein helles Licht. In den bei schwacher Verdunstung gewachsenen Pflanzen wurden sehr viel weniger Aschenbestandtheile, namentlich aber weniger Chlor und Kieselsäure vorgefunden, als in den bei starker Verdunstung gewachsenen, während an Phosphorsäure und auch an Stickstoff, also an Stoffen, die gleich verarbeitet und ihres osmotischen Gegendrucks beraubt wurden, ungefähr die gleichen Mengen nachgewiesen werden konnten. Aus der gleichen Arbeit (Compt. rend. T. 69. p. 353 u. Landw. Centralbl. 1870. I. p. 143) lassen sich noch manche andere Schlüsse von hohem Interesse ziehen.

wenn nicht durch physiologische Verarbeitung die aufgenommenen Substanzen ihres osmotischen Gegendrucks beraubt würden.*) Dies ist am Deutlichsten aus dem Umstand zu ersehen, dass Stoffe, die eben einer solchen Verarbeitung nur in sehr beschränktem Masse fähig sind, gar häufig dem Verdunstungsstrom entgegen durch die Wurzeln wieder abgeschieden werden. Ich erinnere an das Verhalten der salpetersauren Magnesia und des salpetersauren Kalks, die mit Begierde von der Pflanzenwurzel aufgesogen, nach Abspaltung aber der rasch verarbeitungsfähigen Stickstoffverbindung an Kohlensäure gebunden von der Wurzel abgeschieden werden.

Hier mag denn auch gleich Einiges Allgemeine über Wurzelausscheidungen gesagt werden — Vorgänge, die natürlich nach denselben, uns freilich vielfach verhüllten Gesetzmässigkeiten vor sich gehen. Wenn in einer vereinzelten, sich gänzlich in einem wässrigen Medium befindlichen Zelle ein Stoff durch einen chemisch physiologischen Process Entstehung nimmt, so ist, wenn der entstehende Körper in Bezug auf Protoplasma und Zellhaut überhaupt osmotische Eigenschaften besitzt (kein Colloïd ist), wie wir früher gesehen haben, der *Entstehungsort* wie ein *Abstossungscentrum* für diesen Körper zu betrachten, und jener wird wie der Alkohol aus der Hefezelle in die umgebende Flüssigkeit entweichen.

Die Wurzel einer Luftpflanze befindet sich nun, wie wir nicht mehr weiter auszuführen brauchen, in ganz ähnlichen Verhältnissen, wie ein Complex solcher untergetauchter Zellen, nur dass hier das Moment der Verdunstung hinzutritt, welches die Entstehung eines constanten Wasserstroms durch die Pflanze hindurch ermöglicht. Dieses wirkt beschleunigend für jede Stoffaufnahme, verzögernd für jede Stoffausgabe durch die Wurzel, und wir werden daher bei den Landpflanzen seltner und weniger erhebliche Wurzelausscheidungen zu erwarten haben, als derartige Ausscheidungen bei völlig untergetauchten Organismen.***)

Nichts desto weniger sind Wurzelausscheidungen bei vielen Wasserkulturen beobachtet worden, wie wir schon zu berichten hatten, namentlich Ausgabe von kohlensauren Salzen der alkalischen Erden, von grossen Mengen von freier Kohlensäure,***) von Salzsäure bei Stickstoffzufuhr in Form von Salmiak etc; und es zeigt dies, wie keine andere Thatsache, dass in Wirklichkeit osmotische Kräfte auch durch die lebende Zellhaut,†) wie nothwendig geschlossen werden musste, wirksam sind.

*) Eine sehr bedeutende Ansammlung nutzloser Stoffe muss desshalb auf die Möglichkeit von deren chemischen Verarbeitung schliessen lassen, die dann nicht einem nothwendigen physiologischen Processe entspricht.

**) Indessen kommt hier die grosse Unabhängigkeit der osmotischen Erscheinungen vom Druck sehr in Betracht.

***) Vergl. namentlich Knop: Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 129 p. 287.

†) Man hat sich betreffs der osmotischen Vorgänge an den lebenden Membranen häufig sehr unklaren Vorstellungen hingegeben, als ob dieselben Ausnahmen bewirken könnten von den gewöhnlichen Diffusionsgesetzen. Es ist natürlich nicht zu läugnen, dass eine Membran durch den uns unverständlichen Process, den wir „Tod" nennen, viele ihrer Eigenschaften, auch diejenigen, die bei osmotischen Wirkungen in Betracht kommen, abändern kann, immer werden aber auch für die Membran des lebenden Organs, da dieselbe permeabel ist, jene allgemeinen Gesetze der Flüssigkeits-Diffusion Geltung haben. Wenn wir dieselben verschwunden meinen, so ist die betreffende Wirkung einfach durch eine andere unbekannte verdeckt.

Allein man muss vorsichtig sein in der Uebertragung dieser Wurzelausscheidungen auf die gewöhnlichen Vegetationsverhältnisse einer Bodenpflanze. Am Deutlichsten ersehen wir dies aus der (z. B. den vorhin besprochenen Wolf'schen Versuchen zu entnehmenden) Thatsache, dass eine in einer Lösung kultivirte Pflanze, in destillirtes Wasser versetzt, Stoffe, wenn auch in sehr geringen Mengen ausgibt, von denen sie sonst noch fort und fort neue Mengen assimilirt haben würde. Diese Erscheinung, welche osmotisch leicht zu erklären ist, zeigt, wie es ganz und gar — und es kann in der That, sind die entwickelten Grundsätze der Stoffaufnahme richtig, nicht anders sein — bei der Stoffausgabe auf die Beschaffenheit der äusseren Flüssigkeiten ankommt, die man vor und bei einem solchen Versuch verwendet. Es darf desshalb nicht aus dem Verhalten einer Pflanze, die man mit den Wurzeln aus der Erde genommen und in destillirtes Wasser versetzt hat, auf ihr Verhalten geschlossen werden, das sie beim Verbleiben im Boden gezeigt haben würde. Im ersten Falle wird sie eine Reihe von aufgenommenen Stoffen wegen der umgekehrten Diffusionswirkung, die sich nun geltend macht, wieder nach Aussen abgeben, während sie dieselben unter normalen Verhältnissen unfehlbar festgehalten haben würde. Auch dieser so selbstverständlich scheinende Punkt ist häufig übersehen worden, und man glaubte häufig durch jenes erstere Verhalten die normalen Wurzelausscheidungen bestimmen zu können.

Es gab eine Zeit, wo man an der Thatsache, dass unsere gewöhnlichen Bodenpflanzen durch die Wurzel wahre Excremente regelmässig abgäben, nicht im Geringsten zweifelte. Allein die Beobachtungen, auf die sich die genannte Annahme stützte, waren nach jener Methode angestellt worden, die wir soeben als unbrauchbar verworfen haben, und man hätte in der That schon damals auf die Unzuverlässigkeit dieser Methode aufmerksam werden können, da Macaire und eben so Boussingault*) bei *Kulturen* der nemlichen Gewächse nichts von solchen ausgeschiedenen Materien auffinden konnten. Ueber die Natur dieser ausgeschiedenen Substanzen scheint man sich nur sehr vage und sehr verschieden lautende Anschauungen gebildet zu haben. Theils spricht man von organischen Materien, theils von ungeeigneten, von Aussen aufgenommenen Substanzen, welche die Pflanzenwurzel, nachdem sie sich überzeugt habe, dass doch nichts Rechtes mit denselben anzufangen sei, reuig, etwa wie ein Hund, der aus Versehen einen Stein statt eines Knochens erwischt habe, wieder von sich gäbe.

Diese unbegründeten Anschauungen sind desshalb einer Erwähnung werth, weil Decandolle auf dieselben eine Theorie des Fruchtwechsels aufgebaut hat.**) Wir theilen hier am Besten die Boussingault'sche Entwickelung dieser Ansicht mit, in der auch gleich die richtigen Gegenanschauungen gegeben sind. Diese lautet:***)

„Decandolle betrachtet diese Vorstellung als die Grundlage einer Theorie „der Wechselwirthschaft. Wenn man die Absonderungen aus den Wurzeln als

*) Vergl. Boussingault: Die Landwirthschaft etc. deutsch v. Gräger 1845. B II. p. 177.

**) Vergl. ebenda.

***) Vergl. ebenda p. 178.

„Excremente der Vegetation betrachtet, so begreift man sehr wohl, wie diese „Excretionen, nachdem sie einmal in den Boden übergegangen sind, der Pflanze, „welche sie erzeugt hat, ebenso schädlich werden können, wie es die einem Thiere „zur Nahrung dargebotenen Excremente sein würden; wechselt man dagegen „beim Anbau die Gattung, so wird die neue Pflanze aus den Excretionen der „vorigen Erndte Gewinn ziehen können, indem sie dieselben als Nahrungsmittel „aufnimmt. Es scheint aber," fährt Boussingault fort, „als ob diese sinn„reiche Idee nicht auf hinlänglich genauen Beobachtungen beruhe, und schon „dadurch fehlerhaft zu sein, dass die Absonderung durch die Wurzeln noch „keineswegs genügend festgestellt ist. Von einer andern Seite, selbst wenn „man eine solche Absonderung als vollkommen erwiesen annimmt, gibt es zahl„reiche Fälle, welche zeigen, dass viele Pflanzen in einem mit ihren Excretions„materien erfülltem Boden fortfahren können zu vegetiren. Die Kultur der „Halmfrüchte z. B. kann streng genommen ohne Unterbrechung fortgesetzt „werden; wie es auch bei der Dreifelderwirthschaft stattfindet. Auf den Hoch„ebenen der Anden habe ich Getreideländereien gesehen, welche seit 2 Jahr„hunderten jährlich gute Erndten an Körnern liefern; der Mais kann sich „gleichsam fortwährend, ohne den mindesten Uebelstand auf demselben Boden „erzeugen, was eine im südlichen Europa wohl bekannte Thatsache ist etc." *)

Es ist in der That nicht nöthig, hier nur ein Wort hinzuzufügen. Ueber die Theorie des Fruchtwechsels, will ich hier kurz anführen, dass einmal schon der verschiedene Bedarf an den im Boden disponiblen Stoffen auf die Nützlichkeit eines solchen hinweist, indem der Bedarf ja ausserordentlich, wie wir vorhin ausgeführt haben, die Aufnahme beeinflusst, und so der Boden durch manche Gewächse an den verschiedenen Stoffen sehr ungleichmässig erschöpft wird. — Weiter kommen dann die Wurzelrückstände, d. h. die nicht geernteten Theile der producirten Pflanzenmasse in Betracht, welche je nach ihrer Menge, Zusammensetzung und ihre Zersetzungsprodukte nachfolgende Kulturen in sehr verschiedener Weise begünstigen.

Aus den gemachten Auseinandersetzungen geht übrigens hervor, dass keineswegs das gelegentliche oder auch ganz regelmässige Bestehen von Wurzelexcretionen für die Landpflanzen, etwa als dem Wesen des Ernährungsprocesses der Pflanze widersprechend geleugnet werden soll. Bei gewissen Verhältnissen im Boden dürfen wir sogar manche Ausscheidungen als normal ansprechen. Doch haben wir keine Ursache, derartigen Vorgängen einen solchen Umfang und Bedeutung zuzuschreiben, dass wir berechtigt wären, Theorien, wie die von Boussingault angegriffene Decandolle'sche, darauf aufzubauen.

Ehe wir das Kapitel der Stoff-Aufnahme und -Ausgabe durch osmotische Wirkungen völlig verlassen, ist noch eines Vorgangs Erwähnung zu thun, der obgleich ohne tiefere Bedeutung für unsern Gegenstand, ganz strenge hierher gehört. Ich

---

*) Ganz ähnlich sind die Anschauungen Braconnot's (Recherches sur l'influence des plantes sur le sol. Ann. d. Ch. et d. Ph. B. 72 p. 27), der gestützt auf ähnliche Beobachtungen die Theorie von Decandolle widerlegte.

meine die Aufnahme von *tropfbar flüssigem Wasser durch die oberirdischen Pflanzenorgane*, die ja unter gewissen, in den meisten Klimaten ganz regelmässig wiederkehrenden Umständen mit diesem Medium (durch den Regen und den Thau) in Berührung kommen.

Die Frage nach der Wasseraufnahme auf dem bezeichneten Wege schliesst sich ganz enge an die schon früher kurz behandelte *) der Aufnahme von gasförmigem Wasser durch dieselben Organismen an; denn offenbar wird eine imbibitionsfähige Membran, welche die Fähigkeit besitzt, Wassergas in ihren Poren zu verdichten und weiter zu befördern, noch weit eher die Fähigkeit haben, mit schon verdichtetem Wasser ein Gleiches vorzunehmen. Im Allgemeinen müssen wir daher die Frage nach der Möglichkeit einer solchen Wasseraufnahme durch die Blattorgane etc. bejahen.

Doch scheint in Praxis dieser Möglichkeit keine grosse Bedeutung zuzukommen, und desshalb sehen wir auch einzelne Physiologen **) die Frage verneinen. Fast die ganze Oberhaut der oberirdischen Pflanzenorgane und namentlich diejenigen Theile, welche viele Spaltöffnungen enthalten, sind in einer Weise culticularisirt und mit wachsartigen Theilen imprägnirt, dass deren Benetzung geradezu unmöglich ist. Auf die Laubblätter gefallenes Wasser fliesst bekanntlich in runden Tropfen ab, und aus demselben Grunde zeigen diese Blätter unter Wasser den schönen Silberglanz ***). Am Deutlichsten ist diese Beziehung der unbenetzbaren Oberhaut zu dem Vorhandensein von Spaltöffnungen an den an der Oberfläche des Wassers schwimmenden Blättern mancher Wasserpflanzen ersichtlich, indem hier die obere, mit Spaltöffnungen versehene Blattseite Tropfen ohne alle Benetzung abrollen lässt, während die untere, die nur wenig Spaltöffnungen besitzt, am Wasser adhärirt. Der Nutzen dieser Beziehung für die Wegsamkeit der Spaltöffnungen liegt nach früher über diesen Punkt gemachten Bemerkungen auf der Hand.

Nur die *Rippen* der Laubblätter weichen von dem geschilderten Verhalten ab und sind benetzbar, und durch diese Theile muss dann auch eine geringe Wasseraufnahme erfolgen können. Doch ist diese jedenfalls in den meisten Fällen so gering, dass es kaum möglich ist (wie Beispiele lehren), durch das Experiment diese Aufnahme nachzuweisen. Es kann also auch kein erheblicher Nutzen in diesem Verhalten für die Pflanzen liegen.

Der Hauptvortheil, den die etwas verwelkte Luftpflanze durch Regen, Thau etc. empfängt, liegt jedenfalls darin, dass frisch benetzte Blätter keine erhebliche Transpiration unterhalten können, und dass unter solchen Umständen die Pflanzen nun durch die wieder mehr zur Geltung kommende kapillare Wasseranziehung, den Wurzeldruck etc. in Saftfülle gerathen, da das Wasserquantum, welches in einem Gewächse enthalten ist, und durch seine Grösse Saftleere oder Turgescenz bewirkt, von dem Zusammenwirken der beiden Faktoren Wasseraufnahme und Wasserabgabe bedingt ist, also die Schwächung des einen genau dasselbe bewirken kann, wie die

*) Siehe die neunzehnte Vorlesung p. 323.

**) Vergl. hauptsächlich Duchartre: Compt. rend. T. 46 p. 205.

***) Totale Reflexion an der Grenzschicht von Wasser und Luft.

Steigerung des andern. Es ist nicht nöthig über diesen Gegenstand ein Wort weiter zu verlieren.

Doch auch hiermit ist das Kapitel von der Stoffaufnahme (resp. Stoffabgabe) noch nicht völlig beendigt.

Wir haben an die Spitze unserer Betrachtungen über diese Vorgänge den Satz gestellt: Corpora non agunt nisi fluida. Es gibt nun in der Lehre der Pflanzenernährung eine scheinbare Ausnahme von diesem Satz, dessen Gemeingültigkeit unsere bisherigen Untersuchungen nur bestätigen konnten.

Ich will zuerst die beobachtete Thatsache namhaft machen, und alsdann werde ich zu zeigen haben, dass auch sie sich bei näherer Beleuchtung jenem allgemeinem Principe unterordnet.

Man hat beobachtet, dass, wenn polirte Platten leicht zersetzbarer Mineralien, wie z. B. Marmorplatten, so in den Boden eingegraben werden, dass Wurzeln lebender Landpflanzen mit ihren feinsten Verzweigungen mit ihnen in Berührung kommen, durch diese letzteren Corrosionen auf den Platten erzeugt werden, die ganz die Gestalt der sich längs der polirten Fläche verzweigenden Würzelchen haben.*)

Es ist ganz unmöglich, daran zu zweifeln, dass diese Corrosionen direkt durch die Wurzeln hervorgebracht werden, und es lässt sich denken, wie sehr durch diesse Thatsache die unbestimmte Annahme eines selbstthätigen Wahlvermögens der Wurzel, in Folge deren dieselbe gelöste Substanzen unter Umständen verschmäht, ungelöste sich zur aufnehmbaren Nahrung bereitet, bestärkt werden musste. Ich brauche wohl hier nicht nochmals auf die Unzulässigkeit einer solchen Annahme eines instinktiven Wahlvermögens bei der Pflanze hinzuweisen. Die Proclamation eines derartigen Wahlvermögens würde, wenn diese Benennung überhaupt etwas Anderes sein soll, als eine bequeme Ausdrucksweise für eine Summe in ihrem Zusammenhang noch unbegriffener Erscheinungen, einen physiologischen Apparat in der Pflanze voraussetzen, der ihr gestattete, Wahrnehmungen zu machen, ähnlich wie das Empfindungsnervensystem der höheren Thiere diese zu sinnlichen Wahrnehmungen befähigt. Es braucht nicht hinzugesetzt zu werden, dass ein solcher Apparat in den Pflanzen nicht existirt.

Fasst man jedoch die Frage nach den Wurzelcorrosionen näher in's Auge, so gelingt deren Zurückführung auf uns bereits geläufige Thatsachen mit leichter Mühe. Wir wissen, dass die feinsten Wurzelendigungen gar häufig einen sauren Zellsaft in sich enthalten. Es ist schon wiederholt davon die Rede gewesen, dass die Landpflanzen, in wässrigen Lösungen erzogen, oder aus der Erde in Wasser oder Lösungen versetzt, durch ihre Wurzeln grosse Mengen von Kohlensäure abzuscheiden pflegen**). Aber nicht blos Kohlensäure ist eine sehr häufig beobachtete Wurzelausscheidung und darum als ein regelmässiger Bestandtheil des Wurzelzellsaftes zu betrachten, auch andere kräftigere Säuren, eine Anzahl von organischen Säuren sind

*) Solche polirte Marmorplatten, auf denen Wurzeleindrücke zu sehen waren, sind von Professor Julius Sachs auf der Pariser Ausstellung 1867 und auf der landwirthschaftlichen Ausstellung zu Karlsruhe 1869 ausgestellt worden.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 129 p. 187 u. besonders p. 332.

in freiem Zustande in den Wurzeln beobachtet worden. Ich erinnere nur daran, dass man die Aufnahme grosser Mengen von Thonerde, wie man sie z. B. bei den Lycopodiaceen *) beobachtet hat, der besonders stark sauren Reaktion des Wurzelsaftes dieser Pflanzen zuzuschreiben geneigt ist u. dergl. m.

Wir wissen ferner, dass der Zellsaft der Wurzelzellen in eine imbibitionsfähige Membran eingeschlossen ist und dass wir uns die molekularen Zwischenräume dieser Membran auch mit den Molekulen der Säuren, **) die etwa im Zellsaft vorhanden sind, ebenso wie mit denen des Wassers erfüllt denken müssen. Es lässt sich dies Verhalten ja dadurch leicht demonstriren, dass man unverletzte Wurzelspitzen frischer lebender Pflanzen sanft an blaues Lakmuspapier andrückt, wo dann die saure Reaktion zum Vorschein kommt.

Behalten wir diese Sachlage nun im Sinne, so ist auch leicht verständlich, warum ein fester Körper, ist er nur an sich im sauren Wurzelsafte löslich, durch blosse Berührung mit den Wurzeln in Lösung übergeführt werden und der Pflanze zur Ernährung dienen kann. Die in der die Wurzelhaare nach Aussen hin begrenzenden Membran eingelagerten Säuretheilchen sind ja thatsächlich in inniger Berührung mit dem festen Körper ihrer Umgebung und werden ihre gewohnte Reaktion diesem gegenüber geltend machen, d. h. ihn in Lösung überzuführen suchen. Die nun gelösten Theile sind mit der Membran in Berührung und werden nach den vielbesprochenen osmotischen Gesetzen (vorausgesetzt, dass sie keine Colloïde sind) auch in die Wurzelzellen gelangen können, und eben nach diesen Gesetzen um so eher, je ärmer die Zellflüssigkeit an diesen Stoffen ist.

Figur 4.

k Stückchen Kreide.
m Membran.

Dass die gegebene Interpretation des beobachteten Verhaltens durchaus zulässig ist, lässt sich durch einen sehr einfachen Versuch, ***) den ich vorbereitet habe, anschaulich machen. Ich habe einen Glascylinder hierhergestellt, in den eine nach oben hin mit einer künstlichen Membran, dem schon früher benutzten vegetabilischen Pergament, verschlossene Glasröhre eintaucht. Röhre und Cylinder sind mit einer wässrigen Flüssigkeit angefüllt, dieselbe zeigt eine starksaure Reaktion, wie man an diesem eingetauchten blauen Lakmuspapier erkennen kann, das sich intensiv röthet; — es ist verdünnte Essigsäure. Die die Röhre schliessende Membran grenzt mit ihrer unteren Fläche an die saure Flüssigkeit, ist also mit derselben imprägnirt. Trotzdem kann dieselbe nicht hindurchdringen, selbst wenn kein bedeutender Filtrationswiderstand vorhanden wäre, da der äussere auf die Membran lastende Druck etwas höher ist als der innere (vgl. Fig. 4).

*) Vergl. die sechzehnte Vorlesung p. 268.

**) Da wir es in jenen Säuren nicht mit Substanzen von colloïdaler Beschaffenheit zu thun haben.

***) Derartige Versuche hat zuerst Zöller auf Liebig's Veranlassung in dem Laboratorium des letzteren ausgeführt: (vergl. Landw. Versuchsst. 1863 p. 45).

Ich lege nun ein Stückchen Kreide, die bekanntlich in Essigsäure leicht gelöst wird, auf diese Membran und überlasse den kleinen Apparat sich selbst bis zur nächsten Vorlesung. Ich werde sodann der äusseren Flüssigkeit des Cylinders ein paar Tropfen Oxalsäure, die mit dem essigsauren Kalk einen in überschüssiger Essigsäure unlöslichen Niederschlag gibt, zusetzen, und wenn wir nach diesem Zusatz nach einiger Zeit einen weissen Niederschlag entstehen sehen, so ist der Beweis geliefert, dass die Auflösung eines Theils der eben aufgelegten Kreide durch die Membran hindurch vor sich gegangen ist *), und Nichts hindert uns, ein analoges Verhalten der Pflanzenwurzel, da, wo sie Corrosionen an Marmor, phosphorsaurem Kalk, Dolomit etc. bewirkt, anzunehmen.

Diese einfache Vorstellung, welche wir uns von jenem anscheinend merkwürdigen Verhalten **) gebildet haben, verweist nun aber dasselbe ganz in die Reihe der schon, so weit als thunlich, behandelten osmotischen Vorgänge bei der Stoffaufnahme und unter das für den Stoffwechsel erkannte Princip, dass nur eine Substanz in flüssiger Form in die Pflanze eindringen könne.

Hiermit ist aber das Kapitel von der Stoffaufnahme der Pflanze (oder besser deren Stoffaustausch) als erledigt anzusehen.

Als Resultat der vier letzten Vorlesungen über die Stoffaufnahme der Pflanzen lassen sich im Wesentlichen folgende Sätze betrachten:

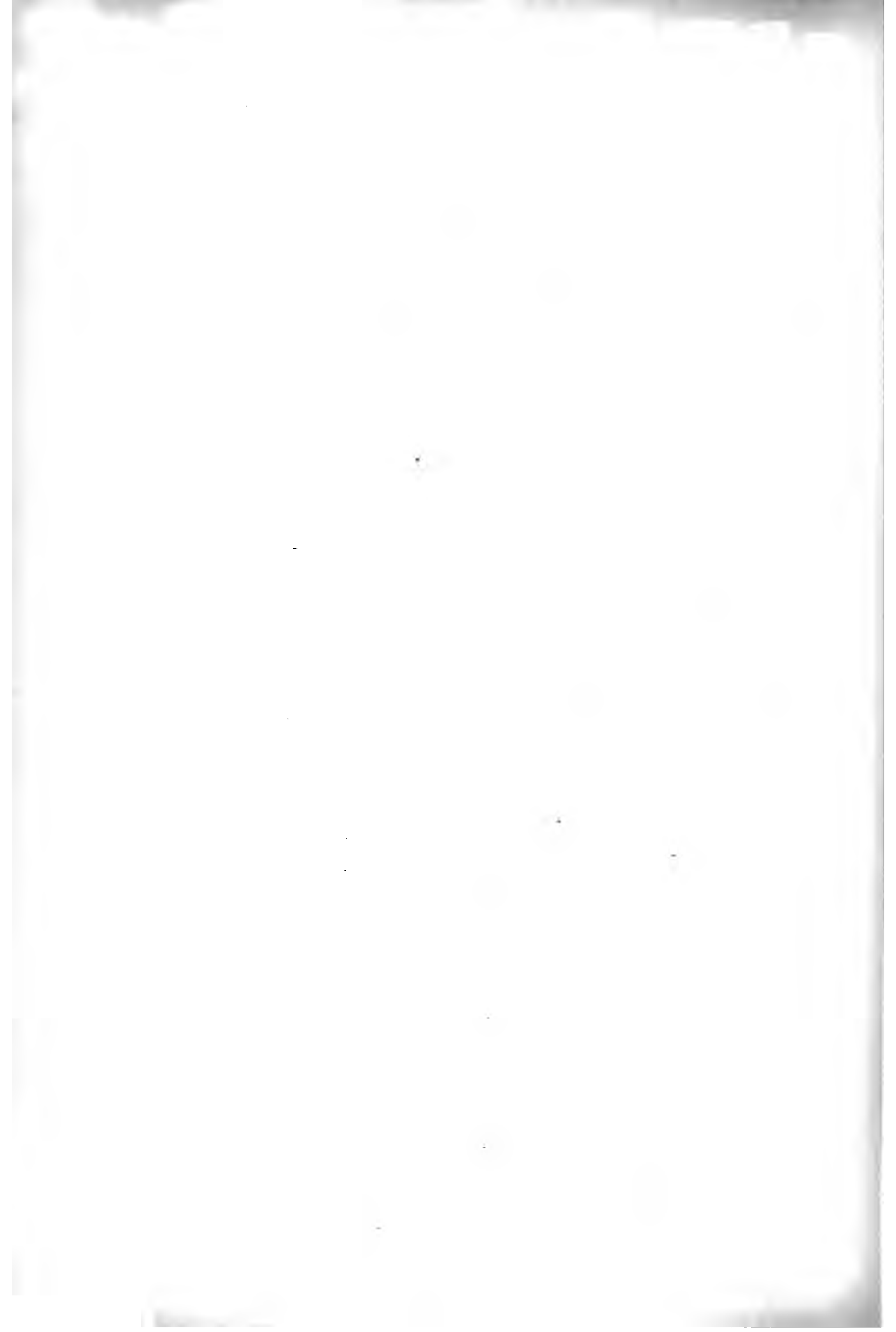
---

*) Bei Anstellung des beschriebenenen Versuchs ist selbstredend dafür Sorge zu tragen, dass keine Kreidetheilchen in den nach oben offenen Cylinder fallen. Natürlich kann man auch statt der gegebenen Zusammenstellung eine U förmige Röhre benutzen, und empfiehlt sich nur die erstere durch die Möglichkeit, bei Anstellung der Oxalsäurereaktion die Röhre mit der Membran zu entfernen.

**) Die hier behandelte Stoffaufnahme, bei welcher die Pflanze zur Verflüssigung der zu assimilirenden Substanzen mitwirkt, spielt, wie wir im zweiten Abschnitt sehen werden, bei einer Theorie der Ernährung der Pflanze in der natürlichen Ackererde — die sich aber ohne Kenntniss der Eigenschaften dieser Ackerde nicht behandeln lässt (auch gar nicht in diesen mehr theoretischen Theil gehört) eine bedeutende Rolle. Der eben beschriebene Versuch wird, worauf ich schon jetzt hindeuten will, als ein Beweismittel für jene Theorie angesehen und verdient daher mehr Beachtung, als er auf sich zu lenken geeignet erscheint.

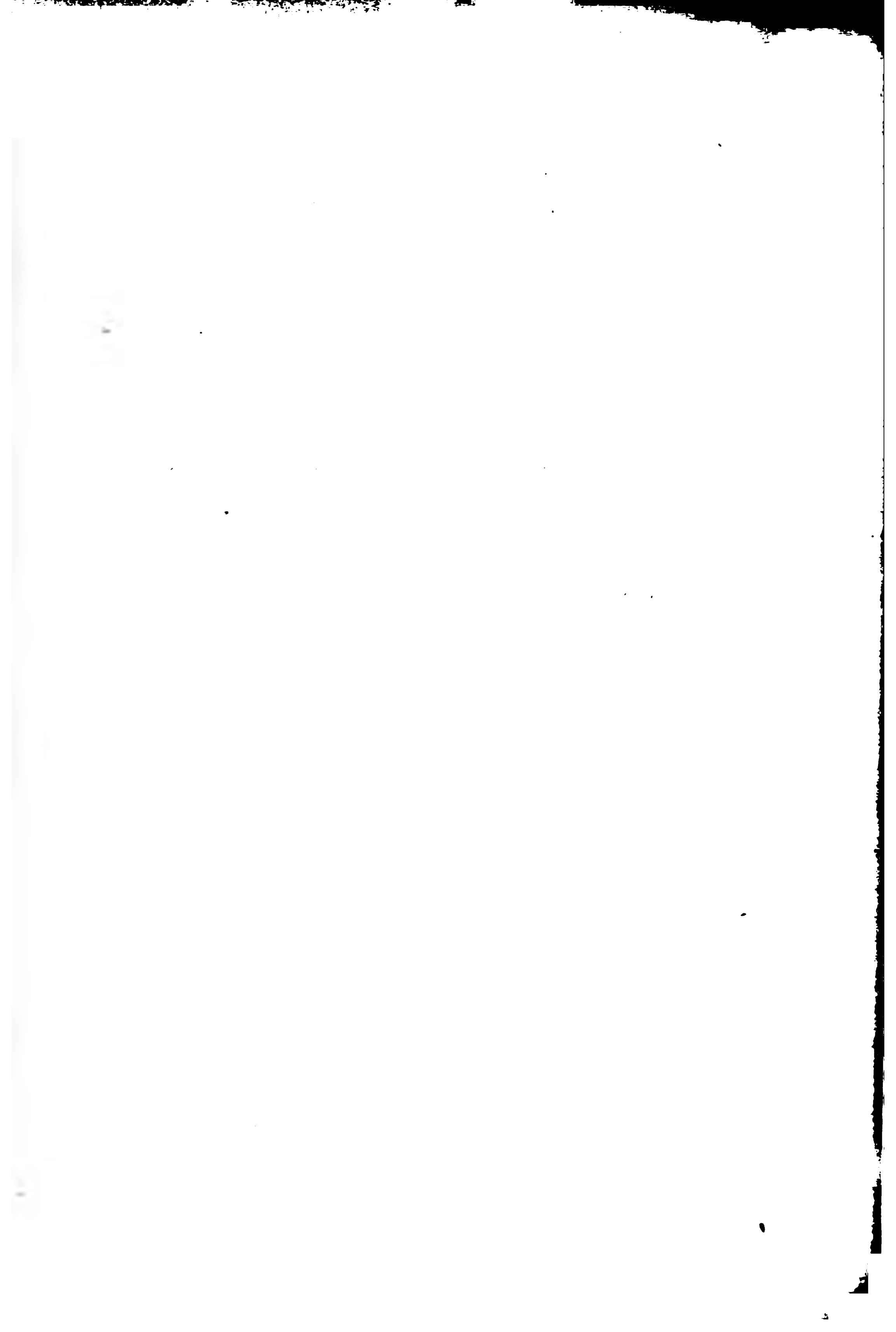
Es sind auch nicht jene corrodirten Marmorplatten allein, die für die Aufnahme der Pflanzenwurzel von ungelösten Stoffen sprechen, sondern vielmehr schon das Bild einer jeden aus dem Boden entnommenen Wurzel. Man findet eine jede, in einem einiger Massen fruchtbaren Boden gewachsene Wurzel, wenn man sie aus der Erde entfernt, dicht umgeben von einer Erdmasse, die gleichsam wie eine Hose die Pflanzenwurzel umgiebt. Man kann allerdings einen Theil der umhüllenden Erdmasse durch Schütteln entfernen, niemals aber alle Erdpartikelchen, ohne die Wurzel selbst zu verletzen, losbekommen. Es ist eine wirkliche Verwachsung zwischen Wurzel und Erdpartikelchen eingetreten, die man sogar unter dem Mikroskop constatirt haben will. Natürlich muss bei einer so innigen Berührung Alles aus der Berührungsfläche der anliegenden Partikelchen aufgelöst werden, was überhaupt die Zellflüssigkeit zu lösen vermag und es wäre gewiss verfehlt, die Wirksamkeit dieses Verhältnisses für die Ernährung zu unterschätzen. Ganz in dasselbe Kapitel gehörte ferner die Assimilation von Phosphorsäure und Eisen aus dem bei der Wasserkultur aufgeschwemmten und auf die Wurzeln abgelagerten phosphorsauren Eisenoxyd, welche auf die gleiche Weise erfolgt.

1) Alle Stoffe, die zu einer chemisch physiologischen Thätigkeit in der Pflanze gelangen wollen, müssen von Aussen kommend durch pflanzliche Membranen hindurchgehen, da die Orte jener Thätigkeiten in der Pflanze durch Membranen nach der Aussenwelt geschlossen sind.
2) Hieraus ergibt sich der gemeingültige Grundsatz, dass nur gelöste Körper die Pflanze zu ernähren vermögen, dass jeder mit dieser Ernährung in Zusammenhang stehende Stoffaustausch in flüssiger Form geschieht.
3) Die Gesetze der Membrandiffusion spielen daher eine hervorragende Rolle bei der Stoffaufnahme der Pflanze.
4) Nur in Bezug auf die Pflanzenmembran *diffusible* Gase und Flüssigkeiten können zur Aufnahme und Ausgabe gelangen.
5) Bei dem Gasaustausch der Pflanzen spielen die Absorptionserscheinungen der Gase in Wasser eine hervorragende Rolle, da die Gasdiffusion durch die mit Wasser imbibirten Membranen stattfindet.
6) Ein zweites Moment des Stoffaustauschs der Pflanze ist neben den Diffusionsvorgängen die physiologische Verarbeitung der in die Zelle gelangten Substanzen. Erst mit Hülfe dieses Vorgangs, der die chemischen und damit die Diffusions-Eigenschaften der Substanzen durch neue Gruppirung der Elemente abändert, wird die Diffusion zu einem continuirlichen, fruchtbaren Process.
7) Für alle in einem einzigen Medium lebenden (pflanzlichen) Organismen ist der Stoffaustausch allein aus den beiden genannten Momenten zu erklären.
8) Für die Pflanzen, welche an den Grenzen zweier Medien leben, also auch für die Landpflanzen, tritt ein neues Moment hinzu, das der einseitigen Wasserverdunstung.
9) Aus diesem weitern Momente lässt sich im Wesentlichen der Wasserstrom herleiten, welcher die Landpflanzen und alle analog situirten Gewächse durchfliesst und die Stoffaufnahme durch die Wurzel wesentlich alterirt.
10) Die Anhäufung von für den Organismus unnützen Stoffen muss durch dies Verhalten wesentlich begünstigt werden.
11) Bei den ganz in tropfbaren Flüssigkeiten lebenden Pflanzen geschieht alle Stoffaufnahme in tropfbar flüssiger Form, und nur die Stoffausgabe ist theilweise gasförmig; bei den zum Theil in die Luft sich ausbreitenden Gewächsen geschieht der Stoffaustausch theilweise gasförmig.
12) Feste Körper können scheinbar auch direkt als Pflanzennahrungsmittel dienen, in sofern sie mit der Membran der feinsten Wurzeltheilchen von Landpflanzen unmittelbar in Berührung kommen.



Fünfter Abschnitt.

Sonstige Vegetationsbedingungen.



Zweiundzwanzigste Vorlesung.

Sonstige Vegetationsbedingungen der Pflanze. — Abhängigkeit des Pflanzenlebens von Wärmeverhältnissen.

Wir haben in unsern bisherigen Ausführungen ganz ausschliesslich die *Ernährungsbedingungen* der höheren chlorophyllhaltigen Pflanzenwelt in's Auge gefasst und dieselben in einem für unsern Zweck ausreichenden Masse studirt. — Es interessirt uns jedoch nicht allein die im Laufe der hinter uns liegenden Vorlesungen gefundene Abhängigkeit des Gedeihens der Pflanzen von dem Vorhandensein einer *Reihe von Stoffen* und einer *Quelle von Arbeitskraft*, sondern ebenso die Abhängigkeit jener von *andern Bedingungen,* die nicht unter die eben genannten Kategorien zu bringen sind. Als eine solche weitere Vegetationsbedingung soll zunächst die *Wärme* oder besser: *das Vorhandensein einer gewissen Temperatur* heute eine eingehendere Behandlung erfahren.

Wir wissen, dass zum Zustandekommen irgend einer beliebigen chemischen Reaktion immer eine gewisse Temperatur erforderlich ist. Manche chemische Reaktionen können sich bei sehr verschiedenen Temperaturen vollziehen, aber in fast allen Fällen sind gewisse Grenztemperaturen vorhanden, deren Ueberschreiten den Eintritt einer jeden Reaktion unmöglich macht. Das Ueberschreiten einer gewissen Schwingungsgrösse von Seiten der Molekule einer Substanz — so müssen wir uns die Sache denken — verhindert das Zustandekommen einer neuen Gleichgewichtslage, ebenso wie die zu geringen Excursionen derselben u. s. f.

Die Lebenserscheinungen müssen, wenn wir anders nicht auf deren endliche Begreiflichkeit und Erklärung Verzicht leisten wollen, sich auf *chemische Reaktionen oder physikalische Processe zurückführen lassen*, und da kann es uns also nicht Wunder nehmen, wenn wir auch hier auf eine Abhängigkeit der einzelnen physiologischen Erscheinungen von der Temperatur stossen und somit finden, dass der ganze Lebensprocess darauf angewiesen ist, sich zwischen gewissen Grenztemperaturen abzuwickeln, deren Ueberschreiten den physiologischen Vorgängen sammt und sonders ein Ende macht, oder, wie wir uns ausdrücken, *den Tod der Pflanze zur Folge hat.* — Der einzige Unterschied, der uns dabei auffällig erscheint, ist der, dass die physiologischen Processe und das ganze Leben eines Organismus *in viel engere Grenzen* auch der Temperaturen eingeschlossen ist, als dies die Erscheinungen der unorganischen Natur gemeinhin zu sein pflegen. Doch liegt darin keine tiefgreifende Abweichung.

Wir haben schon in einer der ersten Vorlesungen *), bei Besprechung jenes

*) p. 21.

wichtigen physiologischen Processes der Produktion von organischer Substanz darauf aufmerksam gemacht, dass eine gewisse Temperatur nothwendig eingehalten werden muss, damit er überhaupt von Statten geht; und ein Gleiches hätten wir seither für alle Lebenserscheinungen, mit denen wir zu thun gehabt haben, wiederholen können. Diese Abhängigkeit ist in der That ganz allgemein und gilt ebenso für das Gesammtleben eines Organismus, wie für jeden einzelnen Lebensvorgang. *Ein jeder Organismus hat* (wenigstens so weit er gerade der Sitz von physiologischen Processen ist*) *eine obere und untere Temperaturgrenze, über die hinausgehend er dem Tode verfällt.*

Der vorstehende Satz scheint zunächst in sofern selbstverständlich zu sein, als es eben Temperaturgrade gibt, bei denen das Wasser, welches als ein constituirender Bestandtheil aller Organismen angesehen werden musste, den tropfbar flüssigen Zustand verlässt und damit natürlich unfähig wird, seine Funktion in der Pflanze zu vollziehen, als es weiter Temperaturen gibt, wo die organische Substanz, aus der der Leib der Organismen aufgebaut ist, zerstört wird, in weniger complicirte Verbindungen zerfällt u. s. f. Von diesen oberen Temperaturgrenzen kann jedoch natürlich nicht die Rede sein. Bei Weitem die meisten Organismen werden bei viel tieferliegenden Temperaturen unfähig, ihre zum Leben nöthigen Vorgänge zu vollziehen und gehen auch bei viel tiefer liegenden Temperaturen zu Grunde, und in diesem Sinne ist der ausgesprochene Satz durchaus nicht selbstverständlich, da es sich um ganz eigenthümliche, für einen jeden Organismus spezifische, und aus jenen Gesichtspunkten nicht herzuleitende Temperaturgrenzen handelt, deren Ueberschreiten die physiologischen Funktionen hemmt, resp. den Tod zur Folge hat.

Ebenso geht ein jeder der schon betrachteten Lebensvorgänge der Pflanzen, nicht blos die Produktion der organischen Substanz, sondern ebenso die Protoplasmabewegung, die Bildung des Chlorophylls u. s. f. nur oberhalb und unterhalb gewisser Temperaturgrenzen von Statten, und zwar sind diese Grenzen nicht blos für die einzelnen Pflanzenarten, sondern auch für diese einzelnen Vorgänge im Allgemeinen verschiedene. Als ein Beispiel für Tausende mag das schon früher Erwähnte gelten, dass die Sauerstoffabscheidung aus den grünen Pflanzentheilen bei gewissen Nadelhölzern bei + $\frac{1}{2}$° C, bei einigen Gräsern schon bei + $1\frac{1}{2}$° C erlischt, oder, um mehr in die Augen fallende Unterschiede zu haben, dass die Protoplasmaströmung von Nitella syncarpa bei einer Temperatur des umgebenden Wassers von 0° C aufhört, in den Haaren von Cucurbita Pepo schon bei einer Temperatur der umgebenden Luft von 10—11° C. **)

Namentlich über die Grenztemperaturen der Keimung liegen für verschiedene Pflanzen ausgedehntere Untersuchungen vor, ***) von deren Resultaten (welche auch ein hohes praktisches Interesse besitzen) hier Einiges mitgetheilt sei.

---

*) Diese Einschränkung ist, wie wir im Lauf dieser Vorlesung sehen werden, nothwendig.

**) Siehe Sachs: Handbuch d. Experimental-Physiologie d. Pflanzen 1865. p. 55.

***) Vergl. Sachs: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1859—60 p. 93.

Bohne	7,°5—35° R	Wasserrübe	4°—37° R
Pferdebohne	4,°8—32° „	Kresse	4°—37° „
Erbse	5,°4—31° „	Sonnenrose	5,°7—32° „
Mais	7,°3—37° „	Kürbis	10°—37° „
Weizen	4°—32° „		
Gerste	4°—32° „		

Hiernach scheint das Wachsen mancher Pflanzen noch bei weit niedrigerer Temperatur vor sich zu gehen, als das Keimen ihrer Samen, denn Hoffmann gibt an, das Wachsen von Gerstenpflanzen im Freien beobachtet zu haben, bei einer Bodentemperatur von etwas über 0°, bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur unter 0°, die sich nur einmal während des Tages ein Paar Grade über 0 erhob. *)

Die Sistirung der Lebenserscheinungen ist indessen noch keine wirkliche Tödtung; zu dieser ist das Ueberschreiten von etwas weiteren Temperaturgrenzen oder das längere Verweilen ausserhalb jener engern Grenzen nothwendig. Dieser Satz gilt namentlich für die pflanzlichen Organismen, die überhaupt im Allgemeinen den äussern Einflüssen gegenüber sich widerstandsfähiger erweisen, als die thierischen. — Es hängt dieser auffallende Unterschied jedenfalls mit der geringeren Energie zusammen, mit der sich die pflanzlichen Funktionen zu vollziehen pflegen. — Die Pflanzen sterben nicht so rasch den Hungertod als die Thiere und ersticken bei Sauerstoffabschluss auch nicht so rasch wie jene; so können sie auch leichter das Ueberschreiten einer Temperatur ertragen **), welches die für das Leben charakteristischen Erscheinungen völlig aufhebt, und verharren so in einer Art Scheintod, um bei rechtzeitiger Herstellung der günstigeren Bedingungen ungestört das unterbrochene Leben fortzusetzen.

Ich habe gesagt, dass dieser bei eingehender Betrachtung immer auffälliger werdende Unterschied jedenfalls mit der geringeren Lebensenergie der Pflanzen zusammenhänge, die schon daraus ersichtlich ist, dass die Pflanzen nur in seltenen Fällen durch jene Verbrennung ihres eigenen Leibes, die wir Athmung nennen, sich bis zu einer merklich höheren Temperatur, als die der ungebundenen Medien erwärmen, während für die vollkommneren Thiere die sehr bedeutend erhöhte Temperatur ihres Körpers etwas durchaus Charakteristisches ist. — Ganz Dasselbe ergibt sich aber auch aus der schon angedeuteten Mittheilung, dass die Pflanzen und Pflanzentheile *um so empfindlicher gegen Temperaturveränderungen sind, mit um so grösserer Energie sich Lebensprocesse in ihnen vollziehen.* Gerade die Zustände, in denen die Pflanzen in Bezug auf Temperatur-Erhöhungen oder Erniedrigungen Erstaunliches aushalten können, sind die der Ruhe, wo keine Protoplasmabewegung, keine bemerkliche Athmung in ihnen stattfindet. Die so sich ergebenden Andeutungen werden wir sehr bald bestätigt finden.

---

*) Ueber Keimen bei niedrigen Temperaturen (vergl. auch Haberlandt: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1860—61 p. 68 u. ff.).

**) Es ist hier, damit die Parallele mit der Abhängigkeit der höheren Thiere von der Temperatur stichhaltig bleibt (wie wir gleich sehen werden), auf die Abhängigkeit von der Temperatur des Organismus, nicht der der Umgebung zu achten.

Wir wollen nun zunächst von dem Absterben des ganzen Pflanzenorganismus in Folge der Ueberschreitung der resp. Temperaturgrenzen reden.

Der Tod in Folge zu niedriger Temperaturen heisst für die Pflanzen, wie für alle Organismen: Das *Erfrieren.*

In Bezug auf das Erfrieren der Pflanzen ist eine Sage im Umlauf, die zwar wissenschaftlich seit längerer Zeit widerlegt ist, sich aber doch noch namentlich bei den Landwirthen einer allgemeineren Verbreitung erfreut. Diese besteht in einer auf den ersten Blick ziemlich plausiblen Erklärungsweise, welche als Ursache des Erfrierens der Pflanzen eine rein physikalische Erscheinung gibt, dem Erfahrungssatze aber, dass alle Lebensvorgänge in enge (uns zunächst noch unverständliche) Temperatur-Grenzen eingeschlossen sind, keine Rechnung trägt. Die populäre Meinung denkt sich das Erfrieren der Pflanzen als in Folge der Eisbildung in den Zellen vor sich gehend. Aehnlich wie das Wasser durch Ausdehnung beim Gefrieren eine Flasche und sogar Bomben zu sprengen vermag, so soll auch die zarte Pflanzenzelle durch Eisbildung auseinander gerissen werden; und nach dieser Vorstellung erscheint der Tod einer also maltraitirten Pflanze dann nicht mehr wunderbar.

Man neigte sich dieser plausibeln Vorstellung um so lieber zu, als bei den Thieren keine Beobachtung vorlag, über das Verhalten derselben niedrigen Temperaturen gegenüber, aus der man hätte Belehrung ziehen können. — Die Thiere sind zwar, wie ich erst vorhin hervorgehoben habe, im Alllgemeinen sehr empfindlich gegen eine Veränderung ihrer Körpertemperatur; aber sie besitzen — und darin liegt die Ursache für den Mangel jeder Analogie — grossentheils eine hier nicht zu erörternde Vorrichtung, die ihnen gestattet, ihre Wärmeproduktion nach den äussern Umständen zu reguliren, und dies gilt gerade für die Klassen, die jene Empfindlichkeit gegen Temperaturveränderung ihres eignen Leibes im höchsten Grade zeigen. Bekanntlich können namentlich die höhern Thiere bei sehr verschiedenen Temperaturen der äussern Medien ausdauern, ohne ihre Körpertemperatur erheblich zu ändern.

Die Pflanzen dagegen besitzen nur in den Verdunstungserscheinungen einen sehr wenig wirksamen Regulator, welcher sich nur bei höhern Temperaturen in wirksamer Weise durch Wärmeverluste, die er veranlasst, geltend macht, und vermögen bei starker Erkältung der äusseren Umgebung auf keine Weise ihren Leib warm zu erhalten *), während das Thier mittelst der grossen und mit Abnahme der äussern Temperatur steigenden Wärmemengen, die es durch physiologische Processe erzeugt, auch bei ausserordentlich niedrigen Temperaturgraden — ist nur der Pelz dick, und der Wärmeverlust nach Aussen langsam genug — sich mit leichter Mühe erhält.

Diese Andeutung wird genügen, um Jedermann klar zu machen, dass die Thiere, trotz jener ausserordentlichen und viel grösseren Empfindlichkeit gegen Temperaturerniedrigungen ihres eignen Leibes, doch nicht so leicht und jedenfalls unter ganz andern Umständen erfrieren wie die Pflanzen. Ich habe dies abweichende Verhalten hervorgehoben, um zu zeigen, dass, als man bei den Pflanzen an die Erklärung der Erscheinung des Erfrierens ging, es an einer brauchbaren Analogie im Thierreiche

*) Da ihre Athmung im Gegensatze zum Thiere bei niedriger Temperatur abnimmt.

fehlte; und damit hängt es dann zusammen, dass man zu jener Erklärung zu einem rein *physikalischen* Grunde greifen zu müssen glaubte.

Man gab also als Erklärung des Erfrierens der Pflanzen die *Eisbildung* in den Zellen an, und diese leicht fassliche Erklärung hatte auch noch die weitere Wahrscheinlichkeit für sich, dass ja augenscheinlich (wenigstens in unsern Klimaten) in denselben Nächten viele Pflanzen durch Erfrieren zu Grunde gehen, wo wir auch Eisbildung wahrnehmen. *)

Bei etwas consequenterem Nachdenken hätten freilich auch die Schwächen dieser Erklärungsweise nicht verborgen bleiben können. Berücksichtigt man nemlich die auch einer nur sehr oberflächlichen Beobachtung sich aufdrängende Thatsache, dass nicht alle Pflanzen bei derselben Temperatur, dass selbst die verschiedenen Organe einer und derselben Pflanze bei ganz verschiedenen Temperaturen erfrieren, dass z. B. der Kohl, das Rübenkraut, das Gras auf unsern Feldern sehr grosse Kälte auszuhalten im Stande ist, während die jungen Triebe und Knospen der meisten unserer Bäume schon bei viel höheren Temperaturgraden zu Grunde gehn, so muss man zur Einsicht gelangen, dass jene Annahme eigentlich Nichts erklärt. — Man müsste dann gerade behaupten, dass in dem ersteren Falle, die resp. Zellsäfte so viel concentrirter seien, dass ein Erstarren erst bei viel niedrigeren Temperaturgraden eintreten könne, — eine Ausflucht indessen, die keine schärfere Beleuchtung erträgt.

Es muss ferner jedem aufmerksamer Beobachtenden sogleich auffallen, dass ja in der Natur noch viel grössere Unterschiede bestehen, als die eben erwähnten. Man denke nur an die zarten Bewohner unserer Treibhäuser, jene südlichen Gewächse, die erst Mitte Mai ihre warmen Räume verlassen, um schon Anfangs Oktober in dieselben zurückzukehren, und man vergleiche mit ihnen unsere Nadelhölzer, deren grüne Organe sogar unsere volle Winterkälte von vielen Graden unter Null ohne Schaden ertragen, oder gar die grönländische Vegetation — und man wird sogleich zugeben, dass jener populäre Erklärungsversuch doch wohl unzulässig ist. **)

Je weiter wir um uns blicken, um so mehr häufen sich die Thatsachen, die unsere letztgefasste Meinung bestätigen. Es gibt thatsächlich Pflanzen in grosser Anzahl in den kälteren und der gemässigten Zone, die in einer Weise gefrieren, dass alle ihre Säfte zu Eis erstarren, und sie selbst ganz hart und steif sind, und die gleichwohl nach dem Aufthauen fortwachsen und gedeihen, als ob Nichts geschehen wäre.

Nähere Untersuchungen haben dann ergeben, dass wie jeder physiologische Vorgang seine Temperaturgrenzen hat, zwischen denen er allein stattfinden kann, so auch *eine jede Pflanze ihre eigenthümliche obere und untere Grenztemperatur hat,* deren Ueberschreiten sie vernichtet.

Das Absterben von Pflanzentheilen in Folge zu grosser Temperaturerniedrigung charakterisirt sich nun durch eine Reihe von Symptomen, mit deren Feststellung die Pflanzenphysiologen sich beschäftigt haben. Lassen wir hierüber Sachs reden.

*) Unter Anderen hat Haberlandt diese Meinung widerlegt. Vergl. Jahresber. für Agrikulturchem. 1861—62 p. 151. Am Allseitigsten ist aber dieser Gegenstand behandelt worden von J. Sachs: Landw. Versuchsst. 1860 p. 167 und in seinem Handbuche.

**) Auch auf die Elasticität der Zellhaut, die deren Zersprengen durch unbedeutendere Volumänderungen erschwert, war aufmerksam zu machen.

„Das Erfrieren," sagt dieser *) „der Zellen (Tödtung durch Gefrieren und Auf-„thauen) kennzeichnet sich durch eine tiefgreifende Veränderung des Proto-„plasma und der früheren endosmotischen Eigenschaften. Die saftigen Zellen „verlieren die Fähigkeit zu strotzen, d. h. die Zellwandung (Protoplasmaüber-„zug und Zellhaut) widersteht nicht mehr dem Druck des Zellsafts, sie lässt „denselben selbst bei geringer Pression durchfiltriren; daher erfüllen sich die „Intercellularräume mit Säften, das Gewebe wird somit durchscheinend und lässt „bei geringer Pression den Saft ausströmen; die theilweise Entleerung der „Zellen macht diese schlaff, das erfrorene Organ verliert seinen Turgor, wird „weich und schlaff. Die Vermischung der nun nicht mehr getrennten Säfte „verschiedener Zellen, das Eindringen der Luft bewirkt rasche Zersetzung und „Farbenveränderung; die nicht mehr resistenten Zellwandungen setzen der „Verdunstung keine Hindernisse mehr entgegen und das erfrorene Gewebe ver-„trocknet schnell." **)

Durch ein solches Feststellen der Symptome der Erscheinung des Erfrierens ist nun aber entfernt keine Erklärung für diese gegeben; wohl aber hat man gesucht, eine solche zu finden. Wir verstehen unter Erklärung einer physiologischen Erscheinung zunächst das Zurückführen derselben auf chemisch und physikalisch bekannte Processe, und es ist Sachs ***) in diesem Sinne vielleicht gelungen, die Erscheinung des Erfrierens wenigstens unserem Verständniss näher zu führen. Derselbe liess Stärkekleister gefrieren und wieder aufthauen und fand, dass die so erhaltene Masse durchaus keinem Kleister mehr ähnlich war, vielmehr eine „grobporige, schwammige" Substanz darstellte, aus welcher sich das Wasser leicht ausdrücken liess. Ganz ähnlich verhielt sich Hühnereiweiss, das aus dem Ei herausgenommen durch Erwärmen zum Gerinnen gebracht worden war, und welches in diesem Zustande dem Froste ausgesetzt wurde. Auch hier resultirte nach dem Aufthauen eine grobporige, schwammige Masse, die beim Drücken leicht viel Wasser abgab.

Derartige Versuche zeigen jedenfalls, dass das wirkliche Erstarren durch Kälte auch bei wässrigen organischen Substanzen, die nicht mehr als organisirt †) betrachtet werden können, tiefgreifende Aenderungen herbeiführt, — Aenderungen, die es beim wiedererfolgenden Aufthauen unmöglich machen, dass die kleinsten Theilchen ihre vormalige Gleichgewichtslage wieder finden; und in so fern mag für manche

*) Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen p. 57.

**) So ist z. B. das Erfrorensein bei Stücken von rothen Runkelrüben leicht daran zu erkennen, dass dieselben ihren rothen Saft an Wasser, in das man sie gelegt, abgeben, während in einem lebenden Zellencomplex der Filtrationswiderstand der Zellhaut viel zu bedeutend ist, um dies zu gestatten. Ebenso gestattet auch der erfrorene Primadialschlauch (die peripherische Schicht des Protoplasma) gelösten Farbstoffen Eingang in sein Inneres, was auf eine ähnliche Veränderung in der Anordnung der ihn constituirenden Theilchen schliessen lässt und jedenfalls ein charakteristisches Merkmal für die Ertödtung ist.

***) A. a. O. p. 60.

†) Auch das Hühnereiweiss ist nach dem Gerinnen nicht mehr als eine organisirte Substanz aufzufassen.

Symptome, die wir nach dem Aufthauen hartgefrorener und erfrorener Pflanzentheile finden, eine Erklärung in dem von Sachs festgestellten Verhalten einiger, dem Organismus nicht mehr angehörigen organischen Körper liegen.

Es lassen sich auf diese Weise vielleicht sogar gewisse Beobachtungen (von denen wir gleich zu sprechen haben werden), die man beim Aufthauen gemacht hat, und welche im Wesentlichen darin bestehen, dass ein hartgefrorener Pflanzentheil in vielen Fällen noch vor dem *Erfrieren* dadurch zu retten ist, dass man das Aufthauen recht langsam (ohne rasche Temperatursprünge) vor sich gehen lässt, einigermassen erklären, indem man sich mit Sachs*) der Vorstellung hingeben kann, dass in diesem Falle die kleinsten Theilchen *noch Zeit finden können, ihre alte Gleichgewichtslage wieder aufzusuchen.*

Indessen ist darauf hinzuweisen, dass dieser anerkennenswerthe Erklärungsversuch doch eben nicht die wichtige und auffallende Thatsache berücksichtigt, dass bei sehr vielen Pflanzen der Erfrierungstod bei höheren Temperaturen eintritt, als der, wo Eisbildung in ihren Zellen stattfindet;**) denn jene auffallende Constitutionsveränderung von Stärkekleister und Hühnereiweiss tritt eben nur bei wirklichem Erstarren des darin enthaltenen Wassers ein. — Weiter ist hervorzuheben — was sich eigentlich von selbst versteht —, dass natürlich niemals an eine erschöpfende Erklärung der Erscheinung des Todes gedacht werden kann, ehe man das Wesen des Lebens zu erfassen gelernt hat, d. h. bis wir alle für das Leben wesentlichen physiologischen Vorgänge auf chemisch und physikalisch bekannte Thatsachen zurückgeführt haben, und wir wissen nur zu gut, dass man noch weit von diesem Ziele entfernt ist.

Mit der vorgetragenen Theorie des Erfrierens pflanzlicher Organismen (wenn man jenen Erklärungsversuch als solche bezeichnen darf) sind aber, wie schon angedeutet, eine Reihe von Beobachtungen über die mögliche Verhütung dieser Todesart, welche zudem ein erhebliches praktisches Interesse besitzen, gut in Uebereinstimmung zu bringen.

Man hat nemlich beobachtet, dass es hauptsächlich auf die Art ankommt, wie die nachherige Erwärmung eintritt, ob eine Pflanze durch eine niedrige Temperatur wirklich getödtet wird oder nicht. Namentlich an unsern einheimischen und den Kultur-Gewächsen wurden derartige Beobachtungen gemacht.

Wenn man Pflanzen, welche in kalten Nächten hartgefroren sind, mit eiskaltem Wasser begiesst, so dass dieses an ihnen festfriert, eine Bekleidung von Eis um sie herum bildend, und dann die so behandelten Pflanzen nach und nach mit grosser Vorsicht erwärmt, so kann man sie hierdurch in den meisten Fällen vor dem Tode schützen. In diesem Falle *verhindert* offenbar das langsame Aufthauen einer grösseren Eismasse *das rasche Ansteigen der Temperatur* des dieser Manipulation unterworfenen Gewächses.

Es gibt nun eine ganze Reihe gärtnerischer Regeln, die genau auf derselben Thatsache, der Schädlichkeit einer raschen Temperaturerhöhung gefrorner Pflanzen

---

*) A. a. O. p. 91.

**) Siehe übrigens in Betreff der Sicherheit dieser Thatsache p. 375.

beruhen. So werfen die Gärtner gefrorene Krautköpfe und dergleichen auf einen Haufen zusammen oder legen sie in eiskaltes Wasser, — beides augenscheinlich zu demselben Zweck, um plötzliche Temperatursteigerungen, die unter gewöhnlichen Umständen (z. B. durch einen Sonnenblick) eintreten könnten, so durch die grosse Masse des zu Erwärmenden zu verhindern.

Man kann in der That nach Belieben Beobachtungen anstellen, die genau das Gleiche lehren. Fasst man im Freien gefrorene empfindliche Blätter nur einen Moment mit den warmen Fingern an, so geht gerade diese Stelle, an der natürlich ein Aufthauen und eine rasche Temperaturerhöhung eintritt, unfehlbar zu Grunde, während das ganze übrige Blatt gerettet werden kann, und unter den meisten Umständen sich selbst überlassen thatsächlich gerettet wird.

So gelangt man durch diese vielfachen übereinstimmenden Beobachtungen geradezu zu dem Satze: *Die Pflanzen erfrieren nicht durch das Gefrieren, sondern durch das Aufthauen und zwar durch zu rasches Aufthauen.* *) Dieser Satz ist allerdings, wie wir nachher sehen werden, nicht ganz strenge richtig, aber doch für den gewöhnlichen Sachverhalt vollständig bezeichnend.

Sachs hat nun von der Erkenntniss dieses Zusammenhangs ausgehend noch eine grosse Reihe von Versuchen angestellt und alle diese Versuche bestätigen das, was wir ausgesprochen haben. Derselbe experimentirte mit vielen, selbst sehr gegen Kälte empfindlichen Pflanzen, liess dieselben bei —4° bis —6° C erstarren und brachte sie theilweise in Wasser von 0°, theilweise in solches von 6° bis 10° C. Die auf die letztere Weise behandelten Pflanzen starben immer sammt und sonders ab, während die in eiskaltes Wasser gebrachten gefrorenen Gewächse, welche sofort eine Eiskruste um sich herum bildeten, vollständig durch die Vermeidung des raschen Temperatur-Uebergangs gerettet wurden. Es gelang Dies z. B. auch für gefrorene Rüben und sogar für die wegen ihrer Empfindlichkeit gegen Frost berüchtigten Blätter des Tabaks.

Ganz mit diesen Thatsachen in Uebereinstimmung steht die Beobachtung, dass die in der Erde befindlichen Wurzeln einer Pflanze auch im hart gefrorenen Boden nur selten erfrieren, da sie vor raschem Aufthauen durch die Masse und die grosse spezifische Wärme **) des Bodens geschützt sind, und dass gefrorene Pflanzentheile an klaren Tagen, wo sie noch völlig starr von der Sonne getroffen, rasch aufthauen und sich erwärmen, am Leichtesten absterben.

Ich habe gesagt, dass diese Thatsachen, welche alle genau Dasselbe lehren, mit der von Sachs vertretenen Vorstellung von dem Processe des Erfrierens in Uebereinstimmung sich befinden; und Dies erhellt einfach aus dem Gesichtspunkt, dass zur Wiederherstellung derjenigen Gleichgewichtslage der Molekule, wie sie für die Constitution organischer Gebilde charakteristisch ist, wenn dieselbe durch einen gewaltsamen Akt wie das Gefrieren des Constitutionswassers gestört wurde, eine gewisse

*) Es ist für die Theorie dieses eigenthümlichen Verhaltens von einiger Wichtigkeit, dass die Fäulniss des Fleisches, wenn es vorher gefroren war, um so rascher eintreten soll, je schneller das Aufthauen erfolgt. Vergleiche Elsner: Chem. Techn. Mittheilungen 1870. pag. 72.

**) Im Vergleich mit der Luft.

Zeit nothwendig sein kann, während beim raschen Aufthauen das Wasser abläuft, ohne sich von Neuem zwischen die Zellhauttheilchen in der alten Ordnung einlagern zu können.

Ausser dem gewöhnlichen Erfrieren, das lediglich durch rasches Aufthauen bewirkt wird, gibt es nun aber auch ein *wirkliches Erfrieren*, das, gleichviel in welcher Weise man die Wiedererwärmung vornimmt, durch eine gewisse Minimaltemperatur, welche die Pflanze eben unter keinerlei Umständen zu ertragen vermag, bewirkt wird. Ob hierher das Erfrieren der empfindlichen Gewächse, die oberhalb des Gefrierpunkts zu Grunde gehen, gehört, muss schon in sofern zweifelhaft bleiben, als noch nicht mit Sicherheit festgestellt ist, ob diese meist tropischen Gewächse, deren Absterben bei einer Lufttemperatur über 0° nachgewiesener Massen erfolgt, sich in den beobachteten Fällen nicht selbst auf den Gefrierpunkt oder noch tiefer durch Ausstrahlung gegen den freien Himmel erkältet haben. So lange Dies nicht vollkommen feststeht, müssen die dahin zielenden Fälle natürlich ausser Rechnung bleiben. Allein man hat an unsern heimischen Pflanzen die Erfahrung gemacht, dass es für sie, die steifgefroren durch vorsichtige Behandlung wieder zum Leben erweckt werden können, dennoch eine Temperaturgrenze gibt, unter welche gebracht, sie durch keine Mittel mehr gerettet werden können und als absolut erfroren betrachtet werden müssen. Wir können uns allerdings keine Vorstellung davon machen, wie eine glashart gefrorene Pflanze noch durch weitere Temperaturerniedrigungen verändert und beschädigt werden kann; aber dies beweist im Grunde nur, wie wenig wir noch eine Einsicht besitzten in die Natur des Erfrierungsprocesses.

Eine ganz ähnliche Erscheinung, welche hier noch kurz Erwähnung finden mag, ist die, dass manche Pflanzen, mit denen man Versuche anstellte, wohl ein einmaliges Gefrieren, nicht aber ein *wiederholtes* ertragen konnten, — eine Erscheinung, die wir natürlich ebenso wenig zu erklären vermögen.

Soviel sei hier über die Erscheinung und die Theorie des Erfrierens mitgetheilt. — Aehnlich wie eine untere, besitzen nun aber, wie gesagt, die Pflanzen eine obere Temperaturgrenze, bei deren Ueberschreitung sie zu Grunde gehen und welche im Allgemeinen ebensowenig mit der Temperatur einer tiefgreifenden Veränderung eines constituirenden Bestandtheils dieser Organismen (also etwa dem Kochpunkt des Wassers) zusammenfällt wie die Erfrierungstemperatur mit dem Eispunkt. Die über das Absterben der Pflanzen in Folge zu starker Erhitzung bestehenden theoretischen Anschauungen (wenn sie so genannt werden dürfen) sind denen über das Erfrieren sehr ähnlich. Ob indessen auch hier die Raschheit des Temperaturwechsels wesentlich mitwirkt, ist experimentell noch nicht mit genügender Sicherheit festgestellt.

In den nun folgenden Mittheilungen muss ich mich daher darauf beschränken, auf die grossen Unterschiede aufmerksam zu machen, welche in Betreff des Bedürfnisses an Wärme für verschiedenartige Pflanzen beobachtet worden sind, da von einer weiteren theoretischen Behandlung des Gegenstandes nicht mehr die Rede sein kann.

Manche Pflanzen sind so hart gegen niedrige Temperaturen, dass sie sogar diejenigen Lebensprocesse, zu denen verhältnissmässig die höchsten Temperaturen erforderlich sind, unter dem Schnee, also bei einer Temperatur, die 0° nicht übersteigen

kann, vollziehen. So blüht z. B. Soldanella alpina*) unter dem Schnee, eine kleine Höhlung um sich bildend. Andere, zumal niedrige Pflanzen können ausserordentlich hohe Temperaturen ertragen, ohne in ihrer Vegetation gestört zu werden. Es liegen Angaben von Cohn**) vor, der im Karlsbader Sprudel bei 44°—54° C Lepthotrix lamelloea in voller Lebensthätigkeit fand. Lander-Lindsay gibt sogar an, auf Island in Wasser, das so heiss war, dass man in demselben Eier in 4—5 Minuten gar sieden konnte, lebende Conferven gefunden zu haben, und hiermit steht Ehrenbergs's Angabe, in den heissen Quellen auf Ischia, deren Temperatur 81°—85° C beträgt, frisch vegetirende braune und grüne Filze von Oscillatorien und Cunotien gefunden zu haben, völlig überein. Es sind dies Verschiedenheiten in der Widerstandsfähigkeit gegen extreme Temperaturen, die fast abenteuerlich erscheinen, namentlich, wenn man mit den eben gemachten Angaben vergleicht, dass unsere gewöhnlichen höhern Pflanzen, wie die meisten unserer Kulturgewächse schon einer Temperatur von 51° C unfehlbar unterliegen, wenn sie nur 10 Minuten derselben ausgesetzt sind. Andererseits bedürfen im Gegensatz zu Soldanella alpina eine Menge Pflanzen 20° C und mehr, um zur Blüthe zu gelangen. Es erscheint unnöthig, dergleichen Beispiele weiter zu häufen.

Einige allgemeinere Regeln über die Abhängigkeit der Pflanzen von der Wärme hat man jedoch vermocht, aus diesem Wust von Thatsachen herauszufinden. Es ist hier zu nennen die wichtige Beobachtung die wir schon beiläufig erwähnt haben, dass Pflanzen und Pflanzentheile um so empfindlicher gegen Temperaturveränderungen sind, *je lebhaftere Vegetationsprocesse sich in ihnen vollziehen.* Alle zur Zeit ruhenden Organe, wie der Samen, die Sporen, die überwinternden Knospen und ebenso die Organe, die keiner Neubildung aus sich heraus fähig sind, können grosse Temperaturschwankungen ertragen, während die gekeimten Samen und Sporen, die in der Entfaltung begriffenen Knospen, die der Neubildung fähige Cambiumschicht sehr empfindlich sind, namentlich leicht durch Frost zu Grunde gehen. Diese Gesetzmässigkeit, die auch so ausgedrückt worden ist, dass die mit Wasser imbibirten Gewebe***) empfindlich gegen grosse Temperaturveränderungen seien, im Gegensatz zu den trocknen Geweben, kann durch sehr viele Beispiele belegt werden.

Die Sporen einer Reihe von Pilzen, die in dieser Richtung untersucht worden sind, können in der Luft eine Temperatur von 120° C mit voller Keimkraft überdauern, selbst wenn sie eine halbe Stunde in derselben verweilt haben und gehen meistens erst bei einer längeren Erhitzung auf 130° zu Grunde, so dass man sagen kann, sie erliegen erst der beginnenden Zerstörung der organischen Substanz. Be-

*) Vergl. hinsichtlich der Resistenz einiger Alpenpflanzen gegen jahrelanges Bedecktsein von Gletschereis: Botan. Zeitung 1843 p. 12—14.

**) Ich entnehme diese Angaben d. Landw. Centralbl. 1868.

***) Dies war die Ausdrucksweise De Candolle's: „La faculté de chaque plante et de chaque partie d'une plante pour résister aux extrêmes de la température est en raison inverse de la quantité d'eau, qu'elle contient.“ „Physiol. III. p. 1103:“ citirt bei Sachs. Wir haben früher auf den Wasserreichthum derjenigen Pflanzentheile, in denen sich lebhafte Vegetationsprocesse vollziehen, deutlich hingewiesen.

feuchtet, in Wasser liegend oder gekeimt scheinen dieselben sammt und sonders unter 80° C ihre Lebensfähigkeit einzubüssen. Genau dasselbe Verhältniss zeigt sich bei den complicirter gebauten Samen unserer höheren Gewächse. Nach Sachs *) können z. B. trockene Erbsen eine Stunde lang bei 69° C ohne Einbusse ihrer Keimkraft verweilen, während dieselben nach 24stündiger Quellung schon bei 54° unfehlbar zu Grunde gehen, und Versuche mit den Samen unserer Cerealien ergaben durchaus ähnliche Resultate. **)

Genau Dasselbe gilt bei Sporen und Samen für niedrige Temperaturen in einem Grade, dass sie im trockenen Zustand gar nicht erfrieren zu können scheinen, während sie im gekeimten Zustand, wie die leicht anzustellende Beobachtung und der tägliche Augenschein lehrt, sehr leicht durch Frost zu Grunde gehen. Ferner kann man sich in jedem Frühjahr davon überzeugen, dass die Knospen, welche sich den ganzen harten Winter hindurch an den perennirenden Gewächsen gefunden haben, ohne im Geringsten durch den Frost zu leiden, jetzt bei ihrer Entfaltung und noch mehr nach ihrer Entfaltung von einer Empfindlichkeit gegen ein kleines Nachtfröstchen sind, dass wir in unserm Klima nur dieses Umstandes wegen das zu frühe Eintreten des Frühjahres, nach welchem dann Rückfälle in den Winter gewöhnlich sind, verwünschen. — Diese Beispiele vermögen genugsam die vorhin ausgesprochene Gesetzmässigkeit zu illustriren.

Ein praktisches Interesse hat von allen diesen Erscheinungen für uns wesentlich nur das Verhalten der höheren Gewächse bei niedriger Temperatur, da an ein Zugrundegehen derselben durch zu hohe Temperaturen unter natürlichen Verhältnissen nicht gedacht werden kann. Diese oberen Grenzen haben erst in neuerer Zeit für gewisse niedrige Organismen einige praktische Bedeutung gewonnen, seitdem man gewisse Pilzkrankheiten der Weine durch Erhitzen derselben auf die entsprechenden Temperaturen bekämpft. ***)

Es bleibt uns noch übrig, von der Abhängigkeit *einzelner* Lebenserscheinungen der pflanzlichen Organismen von den Temperaturverhältnissen ausführlicher zu reden. Einiges über die Grenztemperaturen solcher Vorgänge haben wir bereits angeführt. — Allein man kann noch in einer andern Weise die Abhängigkeit dieser Vorgänge von Wärmeverhältnissen constatiren, insofern nemlich dieselben innerhalb jener Grenztemperaturen natürlich nicht überall mit gleicher Intensität verlaufen, und man die *Relation zwischen der Temperatur und dieser Intensität* ermitteln kann.

An Beobachtungsmaterial liegt in dieser Richtung vor: Einiges über die Intensität der Chlorophyllbildung (Ergrünen des noch ungefärbten Protoplasmas), der Protoplasmaströmung und des Wachsthums — von Vorgängen, welche zum Theil eine mehr oder minder genaue Messung oder Schätzung gestatten. Aus diesem ergibt sich, dass Chlorophyllbildung innerhalb der Temperaturgrenzen mit dem An-

---

*) A. a. O. p. 66.

**) Kaum glaublich erscheinen indessen die von Pouchet (Compt. rend. T. 63 p. 939; Jahresber. d. Agrikulturchem. 1866 p. 137) mitgetheilten Thatsachen von der Widerstandsfähigkeit amerikanischer Medicagosamen gegen die Sodhitze.

***) Die von Pasteur vorgeschlagenen Weinconservirungsmethoden; vergl.: Études sur le vin 1866; und an vielen andern Orten.

steigen der Temperatur mit verhältnissmässig grösserer Raschheit fortschreitet. — Es zeigt sich weiter in gleicher Weise für die Protoplasmaströmung, dass hier ebenso für jeden Temperaturzuwachs eine Beschleunigung der Bewegung, wenn auch keine für jeden Zuwachs gleichförmige Beschleunigung zu constatiren ist, selbstverständlich bis zur oberen Temperaturgrenze, wo das bis dahin rasch strömende Protoplasma plötzlich stille steht.

Für die Wachsthumserscheinungen *) hat sich indessen ein etwas abweichendes Verhalten ergeben, indem dasselbe nicht bis zu den oberen Temperaturgrenzen, wo es schliesslich Null wird, stets wächst, — sondern es gibt für eine jede Wachsthumserscheinung eine Temperatur, bei der dieselbe am Grössten ist; und von diesem Punkte aus erleidet die Wachsthumskurve, welche man durch Aufzeichnung der einzelnen Wachsthumsintensitäten construiren kann, einen Anfangs schwachen, dann stärker und stärker werdenden Abfall nach beiden Seiten.

So sind, um auf Beispiele einzugehen, die gemessenen Wurzellängen von Weizen (natürlich im gleichen Entwickelungsstadium) am Grössten bei einer Entwickelung bei 23° C. Diesseits und jenseits dieser Temperatur ist ein Abfall bemerklich, der jedoch erst jenseits 15° und 32° bedeutend wird. Aehnliche Verhältnisse wurden für das Wachsthum der Keimknospe festgestellt, und treten auch hierbei deutliche Unterschiede im Temperaturbedarf für verschiedene Pflanzenarten auf. Während z. B. die Streckung der Keimknospe des Mais bei 27°C ein Maximum erreicht, scheint dasselbe für die Plumula der Erbse bei 21° zu liegen, und erleidet die Wachsthumskurve der letzteren nach beiden Seiten einen raschen Abfall.

In dieser Weise ist ein jeder Vegetationsvorgang, wie er die Erfüllung einer Reihe von anderen Bedingungen voraussetzt, auch an gewisse Temperaturen geknüpft und, wie wir gesehen, in keiner ganz einfachen Weise von denselben abhängig.

Wir verfolgen diesen Gegenstand, der wenig praktisches und auch zur Stunde noch sehr wenig theoretisches Interesse darbietet, nicht weiter und gehen auf die Frage, deren Behandlung wahrscheinlich schon früher erwartet worden ist, ein, in wie weit *das Pflanzenleben in der Natur von Wärmeverhältnissen abhängig ist*. Dass diese Abhängigkeit praktisch zur Geltung kommt, ergibt der erste Blick auf die Vertheilung der Pflanzen auf der Erdoberfläche, die ja fast ganz durch klimatische Verhältnisse — und diese sind ja wesentlich Wärmeverhältnisse — zurückgeführt werden kann.

Der Abhängigkeit der geographischen Verbreitung der Pflanzenwelt von den durch das Klima veranlassten Temperaturverhältnissen soll ein Theil der nächsten Vorlesung

*) Bei Versuchen über das Wachsthum eines Organs ist der Umstand zu berücksichtigen, dass die Wachsthumserscheinung kein einfach physiologischer Vorgang, sondern abhängig von einem morphologischen Gesetze ist. Dies ist am Leichtesten daraus ersichtlich, dass die Grösse des Wachsthums irgend eines Organs bei gleicher Ernährung und völliger Gleichheit der übrigen äusseren Bedingungen dennoch niemals dauernd proportional der Zeit fortschreitet, also ein neuer Zuwachs eines Organs in seiner Grösse bedingt wird durch das schon vorhandene Stück. Es braucht nicht hinzugesetzt zu werden, dass das, was wir heute noch „morphologisches Gesetz" nennen, schliesslich auch auf physiologische Bedingungen wird zurückzuführen sein.

gewidmet sein. Heute wollen wir uns darauf beschränken, *von den Beziehungen der Vegetation zur Wärme an einem und demselben geographischen Orte zu reden.*

Der Wechsel der Bestrahlung irgend eines Ortes der Erde durch die Sonne, der einmal durch die Drehung der Erde, dann durch die schiefe Stellung der Erdachse zu ihrer Bahn, in Verbindung mit der Bewegung der Erde um die Sonne veranlasst wird, ist bekanntlich die Ursache davon, dass die Temperatur an jedem Orte eine wechselnde, und zwar mit einer Regelmässigkeit wechselnde ist, die nur durch die sekundären Wirkungen jener Bestrahlung (wie z. B. Wasser- und Luftströmungen) in erheblicher Weise gestört wird. Die angedeuteten Verhältnisse veranlassen, wie jeder Schüler weiss, den steten Wechsel von Tag und Nacht. von Sommer und Winter, und die Perioden, die wir Tag und Sommer nennen, sind bekanntlich wärmer als die, welche man Nacht und Winter nennt, wie sie auch lichtärmer sind als diese. Von diesen periodischen Wärmeverhältnissen ist die Pflanze natürlich vielfach abhängig.

Wir müssen zunächst darauf hinweisen, dass *die Abänderung der Temperatur* für die verschiedenen Zonen durch jenen periodischen Wechsel der Bestrahlung und Erwärmung, ganz abgesehen von der absoluten Temperatur *sehr ungleichmässig verläuft.* An den den Polen näher gelegenen Orten bedeutet der tägliche Wechsel zwischen Tag und Nacht verhältnissmässig wenig, während der Unterschied zwischen Winter und Sommer ausserordentlich gross ist; ein Wintertag ist durchschnittlich kälter als eine Sommernacht. Je mehr man sich dem Aequator nähert, um so mehr verschwinden die jährlichen Unterschiede, und die Unterschiede zwischen Tag und Nacht *) werden wegen der grösseren Ausstrahlung gegen den freien Himmel erheblicher. Schon weit ausserhalb der Wendekreise wird in vielen Gegenden der Wintertag im Durchschnitt wärmer als die Sommernacht.

Aus diesem Verhalten folgt schon für die den Polen relativ nahegelegenen Orte, dass der Wechsel der Jahreszeiten verhältnissmässig grosse Veränderungen in den Vegetationsbedingungen herbeiführen muss, während unter den Tropen der Wechsel der Jahreszeiten durch Veränderung der Temperatur verschwindend klein wird, und dort nur in sofern ein Einfluss der Jahreszeit auf das Pflanzenwachsthum, wie auf die Lebensenergie der Thiere **) zu bemerken ist, als dieselbe feucht oder trocken ist, also durch das Vorhandensein oder nicht Vorhandensein einer ganz andern Lebensbedingung als der Wärme, welche nur in sekundären Beziehungen zu dem Lauf der Sonne steht.

So ist für die Verhältnisse der kalten und unserer gemässigten Zone, für welche der Temperaturunterschied zwischen Winter und Sommer in den Vordergrund tritt, je nach der Jahreszeit die Temperatur, welche den Pflanzen zu Gebote steht, sehr erheblich verschieden, und so sehen wir eine Vegetation vor uns, die sich fast ganz an diese gegebenen Verhältnisse in der Weise angepasst hat, dass nur im Sommer Vegetationsvorgänge sich abzuwickeln brauchen, die einer höheren Temperatur be-

*) Ich erinnere an die nächtliche Eisbildung in der Sahara. Vergl. J. Tyndall: Die Wärme etc. deutsche Ausgabe 1867 p. 493.

**) Einige bei uns den Winterschlaf kultivirende Thiere halten in der Nähe der Tropen ihren Schlaf in der trockenen Zeit, die unserem Sommer entspricht.

dürfen, während die Ueberwinterung gemeinhin in einer jener *ruhenden* Formen stattfindet, deren ausserordentliche Unempfindlichkeit gegen niedere Temperaturen wir heute kennen gelernt haben.

Einzelne sehr harte Pflanzen setzen zwar den Winter hindurch einen Theil*) ihrer vegetativen Processe fort und benutzen wenigstens die milderen Tage, wie z. B. die einheimischen immergrünen Gewächse, Epheu, Stechpalme, Sinngrün und die meisten Nadelhölzer**) (manche thun Dies nur gelegentlich, wie die Wiesengräser) zur Produktion von organischer Substanz. — Allein weitaus die grössere Menge der Pflanzen überwintern in Form eines völlig ruhenden Gewebes; die einjährigen in Form des so sehr gegen Kälte unempfindlichen Samens; die mehrjährigen in Form einer ganzen Pflanze, an der jedoch alle stark vegetirenden Organe fehlen. So sehen wir die meisten höhern grünen perennirenden Gewächse im Herbste ihre Blätter abwerfen, während die Knospen, aus denen im Frühjahr neue Triebe und Blätter sich entwickeln sollen, in völlig ruhendem und darum unempfindlichem Zustande den Winter verbringen.

Aehnlich diesem Verhalten der in unserm Klima gedeihenden Pflanzen ist das der in noch höheren Breiten heimischen Gewächse, und um so vollkommener ist die winterliche Ruhe der Vegetation, je mehr man sich dem Pole nähert. Wandert man jedoch dem Aequator zu, so ist es schon nach wenigen Schritten auffallend, die Anzahl der im Winter grünenden Gewächse vermehrt zu sehen. Für uns Deutsche ist bekanntlich der Kontrast am Deutlichsten, wenn wir die Alpen überschreiten und in das immer-grüne Italien hinabsteigen, wenn auch dort die Vegetation im Winter nicht gerade üppig gedeiht und die chlorophyllhaltigen Organe nur eben die Fähigkeit haben, den Winter zu überdauern. Weiter südlich verschwindet dann immer mehr der Vegetations-lose Charakter des nordischen Winters, bis dann endlich der Winter zur Vegetations-reichsten***) Zeit wird, da, wo die sommerliche Trockenheit der Pflanzenwelt feindlich gegenüber tritt, und die immer unbedeutender werdende Temperaturdifferenz nicht mehr in Betracht kommt oder gar günstig wirkt.

Mit diesen Verhältnissen, auf deren Andeutung wir uns hier beschränken können, hängt es dann selbstredend zusammen, dass bei uns der praktische Feldbau wesentlich nur im Sommer getrieben werden kann. Im Winter sehen wir unsere Felder grossentheils leer oder mit Pflanzen bedeckt, die auch in den Perioden vegetativer Thätigkeit wie die Cerealien grosse Kälte ertragen können.

Was nun die Pflanzen betrifft, die einem südlicheren Klima entstammen, nicht an die Unbilden unseres Winters gewöhnt sind, gleichwohl aber von uns angebaut

*) Einige blühen sogar, wie schon erwähnt wurde, in der gemässigten Zone beinahe mitten im Winter.

**) Dass derartige Pflanzen, die auch den Winter hindurch ihre chlorophyllhaltigen Organe in völliger Lebensfrische bewahrten, wegen dieser ausnahmsweisen Fähigkeit auch die Aufmerksamkeit des einfachen Volksverstands erregten, beweist Nichts so sehr als die Worte des naiven Liedes:

„O Tannenbaum! O Tannenbaum!
Wie grün sind Deine Blätter;
Du grünst nicht blos zur Sommerzeit,
Nein auch im Winter, wenn es schneit etc.“

***) Soweit die Regenzeit mit der Zeit der kürzeren Tage zusammenfällt.

werden, so sind diese entweder einjährige Gewächse, deren Samen über den Winter aufbewahrt *) und erst ausgelegt werden, wenn keine Rückfälle mehr in den Winter zu befürchten sind, oder sie sind perennirend und müssen dann durch eigenthümliche gärtnerische Vorrichtungen vor grosser Kälte oder wenigstens vor raschem Temperaturwechsel behütet werden. Dergleichen Vorrichtungen sind für die zartesten Gewächse *die geheizten Treibhäuser*, für etwas unempfindlichere *Einbinden mit Stroh, Bedecken mit Matten,* oder *Vergraben der oberirdischen Theile* in die langsamer die Temperatur verändernde und nicht so stark sich erkältende Erde, wie bei den Rosenstöcken.

Hierbei ist nur daran zu erinnern, dass das Einbinden mit Stroh und dergleichen unmöglich denselben Sinn haben kann, wie die Kleidung für den Menschen, der Pelz für das Thier, da die Pflanze im Grossen und Ganzen (und namentlich im Winter) keine erhebliche Eigenwärme producirt. Eine solche Umhüllung kann nur den Nutzen der Verminderung der Abkühlung durch Ausstrahlung gegen den freien Himmel, welche bei den Pflanzen eine grosse Rolle spielt, und somit der Verhütung einer Temperaturerniedrigung unter die der umgebenden Luft haben und ausserdem vielleicht vor raschem Temperaturwechsel schützen.

Dies Alles aber sind nur *rein gärtnerische* Massregeln, die mit dem Feldbau *im Grossen* Nichts zu thun haben. Dieser letztere kann sich unmöglich auf derartige mühsame Vorrichtungen, welche sich nur bei denjenigen Kulturen, deren Produkte verhältnissmässig sehr hoch bezahlt werden, rentabel erweisen, einlassen, sondern muss sich (wenigstens im Grossen und Ganzen) darauf beschränken, den schädigenden Einwirkungen der Kälte durch passende Wahl der Zeit der Aussaat und dergleichen passive Massregeln zu begegnen, wie er auch während der grössten Trockenheit sich nicht zum Begiessen der dürstenden Pflanzen entschliesst, sondern nur auf indirektem Wege, deren es in diesem Falle eine Menge gibt, dem Mangel an Wasser vorbeugt.

Eine Methode ist indessen bekannt, vermittelst deren der Landwirth mancher Gegenden seine Gewächse auch im Grossen schützt, wenn sie ihm in einer klaren Frühlingsnacht zu erfrieren drohen, — eine Methode, die ihrer Originalität wegen hier entschieden einer Erwähnung verdient. Um dieselbe, deren Sinn man häufig nicht begriffen hat, zu verstehen, muss nochmals darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Ausstrahlung gegen den freien Himmel sehr häufig die Ursache ist, dass die Pflanzen bis auf weit niedrigere Temperaturen sich abkühlen als die umgebende Luft. Wir Alle wissen, dass nicht blos die lebenden Pflanzen, sondern alle im Freien befindlichen Gegenstände, die, wie sie ein grosses Ausstrahlungsvermögen für dunkle Strahlen besitzen und gleichzeitig nur in schlechtleitender Verbindung mit dem Erdboden (der in solchen Fällen ein grosses Wärmereservoir darstellt) stehen, in klaren Nächten bereifen, **) in welchen ein in der Luft aufgehängter und

*) Derartige Gewächse wie der Tabak z. B. würden in unserm Klima, ganz sich selbst überlassen, jedenfalls zu Grunde gehen, da die Keimung unter den meisten Umständen viel zu früh eintreten würde.

**) Vergl. Wells: Theorie des Thau's. Bei Tyndall: Die Wärme etc. deutsche Ausgabe 1867 p. 581.

vor Strahlung geschützter Thermometer noch mehrere Grade über Null zeigt, und da wir nach neueren Untersuchungen Grund haben zur Vermuthung, dass wir mit unsern Thermometern, die wir niemals völlig von den Einflüssen der Strahlung fester Körper zu schützen vermögen, die Temperatur der Luft bei Tage erheblich zu hoch, bei Nacht zu niedrig bestimmen*), so kann es um so mehr als festgestellt betrachtet werden, dass die Pflanzen im Freien durch Strahlung sich ganz bedeutend unter die Temperatur der Luft und des Bodens erkälten können. Diese Strahlung ist es, die selbst innerhalb der Wendekreise im Freien befindliche Gegenstände zu allen Jahreszeiten, wenn nur der Himmel heiter genug ist, bis unter den Gefrierpunkt **) abkühlt, und die auch in den mondhellen Frühlingsnächten unseren Pflanzen so verderblich wird.***) Sie ist das genaue Gegenstück zu dem Schmelzen von Eis und Schnee in den Polargegenden im Sonnenschein, bei einer Kälte von 20 und mehr Graden unter Null.

Das Mittel nun, welches gegen dieses Erfrieren durch Strahlung in der praktischen Landwirthschaft einiger Gegenden †) angewandt wird, ist das Anmachen eines grossen rauchigen Feuers auf dem Grundstück, dessen Bestand Frostbeschädigung befürchten lässt. Man hat diese selbe Massregel, die in Deutschland freilich ziemlich unbekannt zu sein scheint, in den verschiedensten Gegenden der Welt angetroffen. Sie war den Römern bekannt, denn Plinius spricht von derselben, sie wurde von den Eingeborenen von Oberperu den alten Inkas früher eifrig geübt und wird auch in Frankreich im Bezirk von Rochelle, wie es scheint, regelmässig zum Schutze der Weinberge im Frühjahre angewandt. Man macht in klaren Nächten Feuer aus feuchtem Stroh, Abfällen und dergleichen und sorgt namentlich in den Morgenstunden vor Sonnenaufgang, wo die Abkühlung durch Ausstrahlung ihr Maximum erreicht, dafür, dass der Rauch recht dicht über das Feld hinzieht. Dass dies Mittel nicht etwa ein abergläubischer Gebrauch, sondern in der That äusserst wirksam ist, dafür sprechen die in Frankreich angestellten vergleichenden Versuche mit nebeneinander liegenden Feldern, von denen die einen überräuchert wurden, die andern nicht, ganz entschieden. Der Schutz der überräucherten Weinberge war vollkommen, während die jungen Triebe der Weinstöcke in der Umgebung sich erfroren zeigten.

Offenbar wäre es nun ganz und gar thöricht, diesen Schutz auf die Wärme zurückzuführen, welche durch das Feuer erzeugt wird. Dieselbe kann ja nur ganz unbedeutend sein. Dagegen sehen wir von allen Seiten hervorgehoben, dass *starker*

---

*) Dies geht aus der Wägung ganzer Luftsäulen durch barometrische Messungen an Orten verschiedener Höhe hervor; vergl. Rühlmann: Barometr. Höhenmessungen 1870. pag. 87.

**) J. Tyndall: A. a. O. p. 493. Man denke auch an die Eisbereitung in Bengalen.

***) Desshalb schrieben unwissende Landwirthe auch dem Monde die Fähigkeit zu, das Erfrieren zu veranlassen, und es hat sich hieraus die Sage von den erkaltenden Strahlen des Mondes gebildet.

Eine leicht zu widerlegende Theorie der Wirksamkeit des Mondes hat Ritter (Landw. Centralbl. 1861. I. p. 1) entwickelt.

†) Boussingault: Landw. Centralbl. 1858. I. p. 365.

Rauch erzeugt werden müsse und so kommen wir zu der Ueberzeugung, dass der Rauch bei der Operation *wesentlich* ist. In der That haben die Inkas, welche die Hochebenen von Oberperu 6—12000 Fuss über dem stillen Ocean bewohnten und gerade wegen dieser grossen Höhe trotz der Nähe des Aequators das ganze Jahr mit Nachtfrösten zu schaffen hatten, schon ganz genau die Art errathen, wie die geschilderte Massregel zu schützen vermag. In einem Buche über Peru, das der Inka Garcilaso de la Vega*) geschrieben hat, heisst es über den in Rede stehenden Gebrauch:

„War dann bei einbrechender Nacht der Himmel klar, so verbrannten die „Peruaner Mist, um Rauch zu erzeugen, ein jeder in seinem Gehege, denn sie „sagten, der Rauch wirke wie eine Wolkendecke und halte den Frost ab."

Das, was hier die praktische Erfahrung seit alter Zeit lehrte, wird in der allerneuesten Zeit durch die wichtigen Versuche von Tyndall**) uns völlig begreiflich***), indem wir durch diese die Abhängigkeit der Durchstrahlbarkeit der Luft für dunkle Wärmestrahlen, um die es sich hier handelt, von der Beimischung sehr kleiner Mengen verschiedenartiger Dämpfe kennen gelernt haben. Tyndall hat gezeigt, dass die Durchwärmigkeit der Luft (Durchstrahlbarkeit für die wenig brechbaren dunkeln Wärmestrahlen), die für das reine und trockene Gemisch von Sauerstoff und Stickstoff ganz vollkommen ist, sehr bedeutend vermindert wird, wenn ihr andere Gase (mit Ausnahme von Wasserstoff, der sich ebenso wie die Gase der Luft verhält), wie Kohlenoxyd, Kohlensäure, in höherem Masse aber, wenn ihr Schwefelwasserstoff, Sumpfgas, schweflige Säure, ölbildendes Gas, Ammoniak beigemischt werden. Den drei letztgenannten dieser Gase musste sogar nach Versuchen, die Tyndall angestellt hat, die 7—8000 fache Fähigkeit zugeschrieben werden, Wärmestrahlen zurückzuhalten, als jenen unzusammengesetzten permanenten Gasen.

Das gleiche Resultat zeigten eine grosse Reihe von ätherischen Oelen, nur dass von diesen schon unwägbare Spuren genügten, welche die Luft beim Hinwegstreichen über ein mit dem betreffenden Oele getränktes Papier in sich aufnehmen konnte, um die Durchwärmigkeit des Gasgemischs auf einen geringen Bruchtheil der ursprünglichen zu reduciren. Auch das Ozon erwies sich, reiner Luft beigemengt, als ein sehr kräftiges Mittel schon in unmessbaren Mengen die Absorption der dunkeln Wärmestrahlen bedeutend zu erhöhen.

---

*) Landw. Centralbl. 1858. I. p. 368.

**) J. Tyndall: Die Wärme etc. deutsche Ausgabe 1867 p. 408 - 587, ein Werk, dessen Werth schon aus dem einzigen Umstande hervorgeht, dass Helmholtz und Wiedmann die deutsche Ausgabe desselben besorgt haben.

***) Auch hierin liegt wieder eine Lehre für den Hochmuth der Theorie, mit dem diese häufig an in der Praxis übliche aber für sie noch nicht in ihrer Zweckmässigkeit begreifliche Massregeln herantritt. So schildert Wells, wie er Anfangs über die Mittel der Gärtner, zarte Pflanzen vor dem Frost zu schützen, gelächelt habe, da es ihm ganz unmöglich schien, dass eine dünne Matte Schutz gewähren sollte, und nachher durch das Experiment gefunden habe, dass schon ein Batisttaschentuch Erhebliches in dieser Richtung zu leisten vermöge. Ein ähnliches absprechendes Vorurtheil ist man geneigt, in Bezug auf den Rauch als Frostschutzmittel zu fällen.

Was aber für unseren Zweck die grösste Wichtigkeit hat, ist die Entdeckung, dass auch der Wasserdampf, *) welcher in der Atmosphäre unserer Erde eine so hervorragende Rolle spielt, in den gewöhnlichen Mengen dem Gemisch von Stickstoff und Sauerstoff beigemischt, die 70fache Absorptionsfähigkeit zeigen kann als diese. Die Folgerungen dieser wichtigen Entdeckung für die Meteorologie und alle ihr verwandte Wissenschaften sind, wie Tyndall selbst hervorhebt, unberechenbar. Die dunsterfüllte Atmosphäre leistet für die Erde den Dienst eines nur einseitig wirkenden Schirm's, **) welcher sie in der Zeit, wo sie nicht von der Sonne beschienen wird, in äusserst wirksamer Weise vor einer Ausstrahlung schützt, welche letztere sonst alle lebenden Wesen mit voller Sicherheit dem Tode des Erfrierens überliefern würde. Eine Menge klimatischer und meteorologischer Erscheinungen werden plötzlich bei Berücksichtigung dieser merkwürdigen Eigenschaft der Wasserdampf-haltigen Luft erklärt, so dass ich lebhaft bedaure, diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen zu dürfen.

Wir entnehmen den interessanten Resultaten der Tyndall'schen Untersuchungen für unsern Zweck die Thatsache, *dass sehr geringe Mengen flüchtiger Stoffe*, namentlich organischer Verbindungen, in noch wirksamerer Weise wie der Wasserdampf *der Luft ihre Durchwärmigkeit zu nehmen vermögen*, und machen von derselben die Anwendung, dass der thatsächliche Schutz, den die Erzeugung von Rauch oberhalb eines durch Strahlung in den leeren Weltenraum sich abkühlenden bestandenen Grundstücks, *jedenfalls darauf zurückgeführt werden muss, dass in dem Rauch* einer feuchten, nur halb verbrennenden, theilweise der trockenen Destillation ausgesetzten, organischen Substanz, ausser dem schon an sich nützlichen Wasserdampfe, *eine grosse Menge von flüchtigen Stoffen vorhanden sind*, denen ohne allen Zweifel die erläuterte Wirksamkeit zukommt. Der Zweck jenes uns zuerst so befremdenden Verfahrens besteht also wesentlich darin, dass man den Schirm der wasserdampfhaltigen Luft, der im gegebenen Falle nur höchst unvollkommen wirkt, durch künstliche Mittel zu verstärken sucht. In Uebereinstimmung hiermit sehen wir denn auch das Verfahren vorzüglich da angewandt, wo jener Schirm sehr unzureichend ist, also in den hochgelegenen Gegenden von Oberperu, wo die schützende atmosphärische Schicht eine verhältnissmässig dünne ist, und die Wolkenschicht, die von weit grösserer Wirksamkeit ist, als die klare wasserdampfhaltige Luft, meistens fehlt.

---

*) A. a. O. p. 474—489.

**) Oder eines „Widerhakens“ für die Sonnenstrahlen, wie sich Tyndall ausdrückt: vergleiche: A. a. O. p. 543. Die einseitige Wirkung einer wasserreichen Luft oder einer Wolken-schicht, welche darin besteht, die Wärmestrahlen der Sonne ziemlich vollkommen durch sich hindurch zur Erde gelangen zu lassen, umgekehrt aber die Wärmestrahlen der Erde nicht in den Weltraum zurückgelangen zu lassen, beruht, wie angedeutet wurde, auf der Absorption der dunkeln Wärmestrahlen in einer solchen Schicht, während sie für leuchtende sehr durchlässig sein kann.

Dreiundzwanzigste Vorlesung.

Sonstige Vegetationsbedingungen der Pflanze. — Die Verbreitung der Pflanzen und das Klima. — Bemerkungen.

Durch unsere zuletzt angestellten Betrachtungen haben wir Einiges von der Abhängigkeit der Gewächse von den natürlichen Temperaturverhältnissen kennen gelernt. Wir verfolgen heute denselben Gegenstand in einer etwas anderen Richtung.

Unsere Erdoberfläche zeigt eine ganz bestimmte Vertheilung der Wärme. Da diese nun innerhalb gewisser Grenzen eine Vegetationsbedingung darstellt, so müssen wir eine Vertheilung der Gewächse auf der Erdoberfläche gemäss dieser Vegetationsbedingung constatiren können. *) Es ist dabei selbstredend, dass eine jede andere der vielen Vegetationsbedingungen, die wir kennen gelernt haben, an sich in gleicher Weise bestimmend auf den Pflanzenwuchs einwirken muss. Allein keine der anderen dieser Bedingungen ist so *ausserordentlich regelmässig* über unsern Planeten vertheilt als gerade die Wärme — selbst nicht die sonst am Meisten variirende, das Wasser.

Auf den ersten Anblick könnte es freilich erscheinen, als ob noch eine andere wichtige Vegetationsbedingung, die in ihrer Intensität genau von denselben physikalischen Gesetzen regiert wird (da sie mit jener einer und derselben Quelle entstammt) wie die Wärme und ebenso ungleichmässig auf der Erdoberfläche vertheilt ist, — nemlich das Sonnenlicht dabei wesentlich in Betracht kommen müsste. Aber hier ist daran zu erinnern, dass die Wärme *in weit engern Grenzen* als das Licht als unentbehrliche Bedingung des Pflanzenwachsthums auftritt und dass, so viel geringer die durchschnittlichen Lichtintensitäten in der Nähe der Pole als die am Aequator auch sein mögen, doch diese Intensitäten noch zur Produktion einer wenn auch viel geringeren Menge von organischer Substanz ausreichen würden, **) während bei einer entsprechenden Temperaturverminderung Alles zu einem ewigen Eise, das sich mit einem irgend wie erheblichen Pflanzenwachsthum niemals verträgt, erstarren müsste. Man kann desshalb mit voller Bestimmtheit sagen, dass es gegen die Pole hin *nur der Mangel an Wärme* oder richtiger der Mangel an einer genügend hohen Temperatur ist, *der das Pflanzenwachsthum fast gänzlich unterdrückt* und durchaus nicht der Mangel an Licht, so ärmlich es dort auch mit den durchschnittlichen Licht-Intensitäten bestellt sein mag.

Die Temperaturvertheilung der Erdoberfläche folgt bekanntlich einigermassen den Breitegraden. Wäre die Erdoberfläche an allen Orten, und ebenso die darüber lagernde Atmosphäre gleichartig beschaffen, oder träfe diese gleichartige Beschaffen-

*) Eine ausführliche Behandlung dieses Gegenstandes bei H. Hoffmann: Grundzüge der Pflanzenklimatologie 1857, namentlich p. 521—41, der jedoch für unsere Darstellung Nichts entnommen ist.

**) Aus diesem Verhältniss kann noch einmal die so sehr verschiedene Wirkungsweise von Wärme und Licht bei der Pflanzenproduktion ersehen werden.

heit auch nur für die Orte gleicher Breite zu, so würden alle Orte gleicher Breite gleiche Durchschnittstemperaturen haben, so würden Breitegrade und Isothermen coïncidirende Linien sein. Dem ist nun, wie wir Alle wissen, nicht so. Wasser und Land, Gebirge und Ebene, Wald und Wüste liegen in buntem Durcheinander auf unserer Erdoberfläche neben einander, und diese ungleiche Vertheilung der das Klima mit bedingenden oberflächlichen Beschaffenheit unseres Planeten ist es, welche die Orte gleicher Breite zu klimatisch ungleichartigen macht, — welche die Isothermen in mannigfacher Weise von den Linien gleicher Breiten abbiegt.

Es liegt nun natürlich ausserhalb dem Plane unserer Betrachtungen, näher die Einflüsse von der ungleichen physikalischen Beschaffenheit der Erdoberfläche, namentlich von Wasser und Land auf die klimatischen Unterschiede in's Auge zu fassen. Wir nehmen hier einfach die Isothermen als Etwas *Gegebenes* an und studiren deren Einfluss auf die Vertheilung der Gewächse.

Wir besitzen für eine Anzahl von Kulturgewächsen und Waldbäumen ziemlich brauchbare Angaben über die Grenzen ihrer Verbreitung. Namentlich auf der nördlichen Halbkugel, für die derartige Angaben wegen der grösseren Ausdehnung von festem Land und wegen der daselbst vorherrschenden Civilisation in grösserem Massstabe gesammelt und zusammengestellt werden konnten, wissen wir hinsichtlich dieser Verbreitung ziemlich genau Bescheid und können durch Kurven die nördlichen Verbreitungsgrenzen mit annähernder Genauigkeit bezeichnen.

Nach dem vorhin Gesagten wäre man nun geneigt zu schliessen, da die Gewächse in Betreff ihrer Verbreitung nach den Polen hin ganz vorrherrschend durch Wärmeverhältnisse regulirt werden, und nur die lokalen Verschiedenheiten der Ernährungsbedingungen der Pflanze unerhebliche Abweichungen hievon bedingen können, dass sich ein unverkennbarer Parallelismus zwischen diesen Nordgrenzen und den Linien gleicher mittlerer Jahreszeiten, den Isothermen ergeben müsste, dass diese nach den kälteren Gegenden hin die alleinigen den Verbreitungsbezirk eines Gewächses bestimmenden Normen vorstellen könnten.

Wer diese Meinung als anscheinend selbstverständlich adoptirt hat und nun eine Karte zur Hand nimmt, auf welche Isothermen und Nordgrenzen der Kulturgewächse gleichzeitig nebeneinander verzeichnet sind, wie dies auf Tafel III. für Europa geschehen ist, und den Verlauf der verschiedenen Kurven, deren Parallelismus er zu demonstriren hofft, verfolgt, der wird sich übel betrogen finden. Man fasse auf Tafel III. *) die Nordgrenze eines beliebigen Kulturgewächses in's Auge, die des Roggens oder Weizens, oder auch die der Buche oder des Oelbaums, und man wird so mannigfache Schnittpunkte dieser Kurven mit den Jahres-Isothermen, die für je 2° R. gezogen sind, finden, dass es eine handgreifliche Lüge wäre, hier einen auch nur annähernden Parallelismus zu behaupten. Nur einzelne Beispiele:

Die Nordgrenze des Roggens beginnt südlich von den *Faröer*-Inseln und südlich von der durch diese Inselgruppe verlaufenden Jahresisotherme von 6° R., sie berührt

*) Die Isothermen und die Kurven gleicher Monatswärmen auf Tafel III sind dem Werke von Dove: Die Monats- und Jahres-Isothermen etc. Berlin 1864, die Grenzen der Gewächse Berghaus' Physikalischem Atlas und zum Theil auch andern Spezialwerken entnommen.

alsdann die norwegische Küste, indem sie dort bereits die Isotherme von 2° durchschneidet und erreicht in ihrem weiteren Verlauf an der Nordküste des bottnischen Meerbusens sogar die Isotherme von 6° R., um dann im nördlichen *Russland* zwischen diesen beiden letztgenannten Isothermen zu verlaufen. Dabei ist zu beachten, dass die Schnittpunkte ganz vorwiegend *den gleichen Sinn haben*, d. h. dass (in Bezug auf die Darstellungsweise der Karte) die Nordgrenze des Roggens die Isothermen von Links Unten nach Rechts Oben trifft.

Etwas ganz Aehnliches findet nun auch für *den Weizen* statt, nur dass dessen Nordgrenze ein wenig südlicher verläuft. Diese beginnt in Nordschottland zwischen der Isotherme von 8° und 6° R., und wir treffen sie endlich wieder nördlich von *Kasan* zwischen der von 2° und 0°.

Doch fassen wir den Verlauf der *Nordgrenzen der Laubhölzer* in's Auge. Die *der Buche* beginnt auf unserer Karte in *Schottland* zwischen der Isotherme von 8° und 6° R., steigt südlich von *Christiana* Etwas über die von 6°, um dann rasch nach Süden abzufallen, die gleiche Isotherme nördlich vom Ausfluss des *Dnieprs* zu erreichen und in ihrem späteren Verlauf, die weiteren Isothermen von 8° und 10° zu überholen. Also auch hier kein Parallelismus mit den Linien gleicher Jahreswärme; allein für die Schnittpunkte lässt sich eine andere Anordnung, wie für jene (als Kulturpflanzen) einjährigen Gewächse, die ihrer nördlichen Verbreitung nach betrachteten Getreidearten erkennen; sie finden wenn auch nicht ausschliesslich so doch vorwiegend *im umgekehrten Sinne* statt. Die Isothermen werden vorwiegend von Links Oben nach Rechts Unten durchschnitten; die Kurven der nördlichen Verbreitung der Buche beginnt im Westen zwischen den Isothermen 8° und 6° und endigt im Osten zwischen den von 10° und 12°.

Genau Dasselbe findet nun weiter südlich für die Nordgrenze der *Kastanie* statt. Auch hier beginnt die Kurve im Westen an der Südspitze England's zwischen der Isotherme von 10° und 8° und verliert sich im Westen an den Ufern des Kaspischen Meers mit der Isotherme von 12° sich vereinigend.

Etwas ganz Aehnliches ergibt sich auch für *die Nordgrenze des Oelbaums*, die in den *Pyrenäen* zwischen der Isotherme von 12° und 10° ihren Anfang nimmt und in Kleinasien zwischen der von 14° und 12° verläuft. *Alle die Nordgrenzen dieser perennirenden Gewächse durchschneiden vorzugsweise die Kurven gleicher mittleren Jahreswärmen im umgekehrten Sinne, wie die Grenzen jener Getreidearten; sie gehen im Westen Europa's in höhere „Wärmebreiten" hinauf als im Osten, während beim Getreide gerade das Entgegengesetzte stattfindet.*

Der Weinstock verhält sich endlich in seiner nördlichen Verbreitungsgrenze, trotzdem er ein perennirendes Gewächs ist, mehr jenen einjährigen Pflanzen analog, wenn auch nicht in sehr entschiedener Weise. Die Grenze *) beginnt im Westen in

*) Dass die Nordgrenze des Weinstocks nach allen Darstellungen weit mehr unregelmässige Ausbiegungen zeigt, als die anderer Gewächse, ist nicht einer Eigenthümlichkeit desselben zuzuschreiben, sondern lediglich dem Umstande, dass dessen Verbreitung als überaus wichtig, sorgfältig studirt worden ist, ausserdem die Grenze in ein Land fällt, wo genaue und zuverlässige Erhebungen angestellt werden können. Wir würden ähnliche Unregelmässigkeiten bei einer gleichen Vollständigkeit der Angaben auch für alle anderen

der *Normandie* zwischen der Isotherme von 10° und 8°, um etwa bei *Namur* die letztere zu überschreiten, in Deutschland weit nördlich derselben zu verlaufen, in der Provinz Schlesien sich nahe an die Isotherme von 6° heranzudrängen und bis zur *Krim*, jenseits welcher die Nordgrenze des Weinstocks in's Ungewisse verläuft, sich nördlich von der Isotherme von 8° zu halten.

Es handelt sich darum, das eigenthümliche Verhalten dieser Grenzlinien der uns bekanntesten und wichtigsten Gewächse, in dem offenbar eine gewisse Regelmässigkeit verborgen liegt, auf allgemeine Gesichtspunkte zurückzuführen. Es muss sofort im Hinblick auf diese Regelmässigkeit der Gedanke als unzulässig verworfen werden, als ob die Abweichungen irgend einer anderen in ihrer Verbreitung zufälligen Vegetationsbedingung als der Wärme hier einen Einfluss üben könnten; und so scheinen wir denn in der That vor einem vollkommen unlösbaren Widerspruche zu stehen.

Indessen wir brauchen wohl nicht lange zu suchen, um den Schlüssel zu diesem Räthsel zu finden. Wir haben ja bei unsern Betrachtungen nur die mittleren Jahrestemperaturen zu Grunde gelegt und ganz unberücksichtigt gelassen, dass eine und dieselbe Jahrestemperatur sehr verschiedenen Temperaturen in *den einzelnen Vegetationsperioden* entsprechen kann und wird; und diese letzteren Temperaturen sind es offenbar, die wir ganz vorzugsweise in's Auge fassen müssen.

Bei den (landwirthschaftlich) *einjährigen Gewächsen*, die in der winterlichen Periode in Form von Samen gegen alle Unbilden einer kalten Jahreszeit hinreichend geschützt sind und noch dazu, soweit sie Kulturgewächse sind, den Winter hindurch in dieser Gestalt in der Scheuer des Landwirths vor Nässe geschützt und damit vor den Fährlichkeiten eines zu frühen Auskeimens bewahrt bleiben, wird es offenbar beinahe nur auf die Sommertemperatur hinsichtlich ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze ankommen.

Ganz anders bei den *perennirenden Gewächsen*. Wir wissen, dass alle unsere Laubhölzer, selbst die unempfindlicheren im Winter gegen Frostschäden nicht ganz gleichgültig sind. Dieselben finden sich in ihrem winterlichen Ruhezustand doch nicht von einer solchen Widerstandsfähigkeit, wie die Samen der höheren und die Sporen der niedrigen Gewächse und wir wissen mit voller Bestimmtheit, dass auch die Winterkälten der Vegetation aller perennirenden Gewächse eine Grenze ziehen.

Halten wir diesen sich so von selbst ergebenden Gesichtspunkt fest, so müssen die Abweichungen der heissesten Jahreszeit einerseits und der kältesten Jahreszeit andererseits von dem jährlichen Wärmedurchschnitt, welcher durch die Isothermen ausgedrückt wird, zugleich den Sinn der Abweichungen ergeben, wie wir ihn durch Vergleichung der Nordgrenze der Gewächse mit den Isothermen aufgefunden haben: d. h. *diese Nordgrenzen müssen die Jahres-Isothermen in demselben Sinne schneiden, wie dies die Isothermen derjenigen Jahreszeiten thun, von deren Temperatur jene Grenzen im einzelnen Falle bestimmt werden.*

Was hiermit ausgesprochen werden soll, wird sogleich deutlicher werden, wenn wir uns zu den einzelnen Beispielen wenden. Wir haben zur Demonstration der ausgesprochenen Beziehungen auf Tafel III. die Isothermen der extremsten Jahreszeiten gewählt, die Linien, welche die Orte der durchschnittlich gleichen Tempera-

---

Pflanzen aufzuzeichnen haben. Durch jene ist ungefähr der Einfluss lokaler Verhältnisse auf die Ausbreitung der Vegetation charakterisirt.

turen des Januar resp. des Juli *) mit einander verbinden. Ein Blick auf die Tafel genügt, um zu sehen, dass diese Linien der gleichen Juli- und Januar-Wärmen die Jahres-Isothermen in buntem Gewirr durchschneiden. Ein zweiter Blick reicht hin, um zu zeigen, dass die Durchkreuzung in sehr verschiedenem Sinne erfolgt. Eine und dieselbe Juliwärme entspricht im Westen Europa's einer weit höheren mittleren Jahreswärme als im Osten dieses Welttheils. Um ein beliebiges Beispiel herauszugreifen, hat, wie aus dem Verlauf der Kurven sehr deutlich hervorgeht, die *Bretagne* eine Juliwärme von etwa 14° R., eine Jahreswärme von durchschnittlich beinahe 10° R.; verfolgen wir aber die Juliisotherme von 14° bis *Sibirien* — denn so nördlich verläuft sie, — so finden wir sie an Orten, wo eine Jahreswärme von — 3° R. etwa herrscht.

Es ist nur eine selbstverständliche Folgerung dieses Verhaltens, dass die Isothermen der kalten Jahreszeit im umgekehrten Sinne von den Jahres-Isothermen abweichen müssen, denn nur so kann an zwei Orten von gleicher mittlerer Jahreswärme, die so sehr von einander abweichende Temperatur des Juli wieder neutralisirt werden. Und in der That, so ist es. Wir sehen die Isotherme des Januars von 0° über die Südspitze Islands hinziehen, dort wo eine mittlere Jahreswärme von 3° herrscht, und finden dieselbe im Osten Europa's nach einem Verlauf, der eine lange Strecke hindurch rein südlich ist, am caspischen Meere wieder, an einem Orte, der die mittlere Jahreswärme von 10° R. besitzt. Noch abenteuerlicher verlaufen die Januarisothermen in Norwegen, wo sie selbst bei ihrem südlichen Verlauf wieder westlich eingebogen erscheinen und sich im eigentlichen Sinne des Worts überstürzen.

Es liegt natürlich ganz ausser dem Bereiche unserer Aufgabe, den merkwürdigen Verlauf dieser Isothermen der verschiedenen Jahreszeiten meteorologisch zu erklären. Die Ursachen, die denselben bewirken, sind sehr mannigfach, und ich will nur auf zwei übrigens sehr bekannte Gesichtspunkte aufmerksam machen, von denen aus sich die Hauptzüge der Wärmevertheilung über Europa einigermassen verstehen lassen.

Einmal spült der *Golfstrom*, der seinen Ursprung aus den äquatorialen Gegenden der Ostküste Amerika's nimmt, sein erwärmtes Wasser längs der Westküste von Europa hin und erhöht dadurch sehr wesentlich die Temperaturen der kalten Jahreszeiten an dieser Küste, während er nicht warm genug ist, um die sommerliche Wärme zu steigern. So sehen wir denn die Isothermen der kälteren Monate über das ganze Gebiet von England, Island und Norwegen stark nordwärts heraufgebogen und derselbe Einfluss macht sich auch für die Jahresisothermen noch lebhaft geltend.

Zweitens kommt dann in dem ausgedehnten Binnenlande des östlichen Europa's das *continentale Klima*, mit seinen hohen Sommer-, seinen niedrigen Winter-Temperaturen, in dem zerissenen Küstenlande des westlichen Europa's das *Seeklima* in Betracht, das sich wesentlich durch den Ausgleich der jährlichen (und täglichen) Temperaturextreme charakterisirt. Dieser Unterschied zwischen Continental- und Seeklima, den wir am Schroffsten ausgebildet finden für *Island* einerseits und das

*) Man kann die gleiche Demonstration mit demselben Erfolge auch an die Isothermen des ganzen Sommers und ganzen Winters, an die sogenannten Isothermen und Isochimenen anknüpfen.

sibyrische Binnenland andererseits, lässt sich dann wieder leicht auf die hohe spezifische Wärme und die Wärmeabsorptions- und Strahlungs-Verhältnisse des Wassers zurückführen.

Aus den kurzen angestellten Betrachtungen über den Verlauf der Isothermen des kältesten und wärmsten Monats erhellt nun leicht die Beziehung, die zwischen der Nordgrenze der Gewächse in Europa und diesen Kurven besteht. Wir sehen, dass die Grenzen der Getreidearten im Sinne der Juliisothermen, die Grenzen der Laubhölzer durchschnittlich im Sinne der Januarisothermen von den Jahresisothermen abgelenkt sind, ohne natürlich dem Juli und Januar auch nur entfernt auf dem Fusse zu folgen.*) Allein das Erstere genügt ja, um den Einfluss der betreffenden Jahreszeiten**) zu zeigen, und das Letztere kann unmöglich zutreffen, da die genannten Gewächse in ihrem Wärmebedarf nicht allein von jenen Monaten abhängig sind, deren durchschnittliche Wärme wir durch Kurven veranschaulicht haben. So sind natürlich die perennirenden Gewächse in ihrem Fortkommen nicht blos von der Temperatur des Winters abhängig, sondern vielfach auch von der des Frühjahrs oder Sommers, und jemehr man sich dem Aequator und damit Gegenden nähert, deren winterliche Kälte immer weniger und weniger Gewächsen ernstlichen Schaden bringen kann, um so mehr wird auch die Temperatur anderer Jahreszeiten für die Möglichkeit ihres Bestehens entscheidend sein. So ist einleuchtend, dass bei allen Pflanzen nicht blos die Temperatur irgend einer Jahreszeit die polaren Grenzen ihres Vorkommens bilden kann, sondern dass die Jahres-Isotherme sich immer nebenher einen gewissen Einfluss bewahrt, um so mehr, da an Orten, wo z. B. neben einer bestimmten Sommerwärme eine hohe mittlere Jahreswärme besteht, viel weniger Wahrscheinlichkeit zu schädlichen Temperaturschwankungen vorhanden sein wird, als wo diese Jahreswärme eine sehr niedrige wird. Dieser letztere Gesichtspunkt erklärt besonders, warum auch die einjährigen Gewächse, die ihren ganzen Vegetationsprocess in einer kurzen Periode vollziehen, doch noch anscheinend von der ausserhalb dieser Periode liegenden Temperaturverhältnissen, in Wahrheit eben von den in die Vegetationsperiode hineinfallenden Temperaturschwankungen abhängig sind.

So sehen wir denn, wie wir es nach diesen Erörterungen nicht anders erwarten können, *die Nordgrenzen der Getreidearten, des Roggens und Weizens***) von den Jahres-Isothermen im Sinn der Juli-Isothermen abgelenkt*, doch lange nicht in demselben Masse, so sehen wir *die nördlichen Begrenzungskurven der Buche,*

*) J. D. Dana hat gezeigt, dass die Nordrenzen der Meeresfauna mit den Linien der gleichen äussersten Kälte zusammenfallen; vergl. H. Hoffmann: Grundzüge der Klimatol. 1858 p. 544.

**) Boussingault hat schon vor längerer Zeit darauf hingewiesen (siehe die Landwirthschaft etc. deutsch v. Gräger 1845. B. II. p. 435) dass ausserhalb der Tropen die Jahres-Isotherme keine genügende Vorstellung von dem Ackerbau eines Landes geben. Aehnliche Bemerkungen auch bei andern Schriftstellern.

***) Für die Nordgrenze der Gerste in Europa lässt sich durchaus dieselbe Regel erkennen; weniger deutlich tritt sie für die das Mais hervor. Die Waldbäume schliessen sich alle, soweit ihre Begrenzungskurven bekannt sind, wie sich erwarten lässt, der umgekehrten Regel an.

der Kastanie, des Oelbaums im Sinne der Januar-Isosthermen von den Jahres-Isothermen abgelenkt, aber noch viel weniger in demselben Grade.

Noch bleibt die scheinbare Ausnahme zu besprechen übrig, deren wir am Eingang dieser Betrachtungen gedacht haben. Die *Nordgrenze des Weinstocks*, oder in diesem Falle besser gesagt, der Kultur des Weinstocks weicht ein wenig von den Jahres-Isothermen im Sinne der *Sommertemperaturen* und der einjährigen sommerlichen Gewächse ab, obgleich wir es hier mit einem perennirenden Gewächse zu thun haben, deren Nordgrenzen sonst für unsere Breiten mehr von den Wärmekurven der kälteren Jahreszeit beherrscht zu sein pflegen. — Allein auch dieser Fall *) ist eigentlich schon in den vorhin gegebenen Erörterungen vorgesehen. Wenn wir bedenken, dass die Möglichkeit, Wein mit Vortheil zu kultiviren, wesentlich in einer sehr warmen sommerlichen Periode, welche zu jener bedeutenden Produktion von Zucker, wie wir sie vom Weinstock erwarten, absolut erforderlich ist, besteht, dass ferner dieses Kulturgewächs erheblich kalte Winter wie die ungarischen auszuhalten im Stande ist, so erscheint uns die beobachtete Thatsache, dass dessen Nordgrenze nicht sehr von dem Verlauf der Jahresisothermen, aber im Sinne der Linien gleicher Sommerwärmen abweicht, durchaus natürlich. Derartige Verhältnisse wird man, wie gesagt, am Ersten für die (in Bezug auf Europa) südlicheren Gewächse anzutreffen erwarten dürfen, wo die Winterkälte keine solch' entscheidende Rolle mehr spielen kann, als in den dem Pole näheren Gegenden. So kommt es, dass in Südengland, wo die Kastanie eben zur Noth noch gedeiht, der Weinbau eine Unmöglichkeit ist, dass auf der Insel Krim der letztere mit Erfolg getrieben werden kann, wo die Kastanie nicht mehr fortkommt, **) wo sogar die Nordgrenze der Buche nicht mehr fern ist.

Auf diese Weise werden uns die beobachteten Abweichungen der polaren Grenzlinien der verschiedenartigen Gewächse von den Jahres-Isothermen leicht verständlich. Auf diese Weise wird zugleich der vorausgeschickte Satz bestätigt, dass es vorzugsweise Temperaturverhältnisse sind, welche im Grossen und Ganzen die Verbreitungsbezirke der Pflanzen normiren, wenn auch kleinere Ausbiegungen der diese Bezirke bezeichnenden Kurven, in Folge rein lokaler Verschiedenheit sonstiger Vegetationsbedingungen (namentlich Erhabenheit des Terrains) an vielen Orten vorgefunden werden mögen.

Die Vermuthung, dass es die Verhältnisse der Lichtintensitäten seien, die der Ausbreitung der Gewächse gegen den Pol hin eine Grenze setzen, muss vollends Angesichts einer Karte wie Tafel III. aufgegeben werden, so enge auch die Grösse der pflanzlichen Produktion auf einem und demselben gegebenen Terrain von dieser Vegetationsbedingung begrenzt ist. Die Lichtintensitäten (auch die der bei der Produktion der Pflanzensubstanz thätigen Strahlen) sind selbstverständlich abhängig von

*) Sehr gut erhellt auch der eigenthümliche Verlauf der Nordgrenze des Weinbaus aus dem Umstand, dass sie die der Kastanie schneidet, im Westen südlich und im Osten nördlich von derselben verläuft.

**) Mit Ausnahme allerdings der Südküste der Krim, wo eine ganz südliche Vegetation gedeiht, deren lokale Verhältnisse aber bei der Zeichnung der Kurven keine Berücksichtigung finden können.

der geographischen Breite, soweit nicht durch Trübung der Atmosphäre, die natürlich in complicirter Weise von andern klimatischen Verhältnissen abhängig ist, Abweichungen in der Menge des zur Erde gelangenden Lichts erzeugt werden. Der Verlauf der Grenzlinien der Gewächse, namentlich im russischen Binnenland (und auch, wenn man die Sache näher verfolgt, schon der mehr nördliche oder südliche Verlauf der Grenzen der verschiedenen Pflanzen *) zeigt, dass *diese Abhängigkeit praktisch nicht besteht,* selbstredend nur desshalb, weil bei den realen Verhältnissen, wie sie einmal auf der Erde vorhanden sind, sich die innige Abhängigkeit der Vegetationsprocesse von bestimmten Temperaturen *weit früher geltend* macht und hierdurch die Grenzen gezogen werden, ehe noch das Erlöschen jener anderen Vegetationsbedingung fühlbar wird.

Wir haben hier noch von einer anderen Abhängigkeit der Vegetation von Wärmeverhältnissen an verschiedenen Orten zu reden, so weit sie nemlich das verschiedenartige Gedeihen einer und derselben Pflanze *innerhalb* jener Vegetationsgrenze betreffen.

Es ist eine unleugbare Erfahrung, dass der Vegetationsprocess einer Pflanze mit um so grösserer Raschheit sich abwickelt d. h. dass z. B. ein einjähriges sommerliches Gewächs um so rascher zur Reife gelangt, je höher die Temperatur desjenigen Ortes ist, an dem sie angebaut wird. Man hat sogar versucht, und mit einigem Erfolge versucht, diese Abhängigkeit mathematisch zu formuliren. **) Man summirte die Anzahl der Vegetationstage (derjenigen Tage, die zwischen Aussaat und Reife liegen) für die einzelnen Gegenden und multiplicirte diese Summen mit den Durchschnittstemperaturen der einzelnen Tage für dieselbe Gegend und erhielt so Zahlen, die man als *„Wärmesummen"* bezeichnete. Die erkannte und durch eine Gleichung ausdrückbare Gesetzmässigkeit sollte nun darin bestehen, dass diese Wärmesummen für die verschiedensten Orte für eine und dieselbe Pflanzenart einander gleich sein sollten; d. h. also die Vegetationszeit einer und derselben Pflanze sollte an verschiedenen Orten sich umgekehrt proportional verhalten dem dort herrschenden Temperaturgrade.

Boussingault ***) macht z. B. für die Weizenkultur an verschiedenen Orten folgende Angaben: †)

	Dauer der Kultur.	Temp.	Wärmesummen.
Elsass	137 Tage	15° C	2055
Paris	160 „	13,°4	2146
Alois	146 „	14,°4	2102

*) Da das Licht eine für alle grünen Pflanzen zur gleichen Produktion in gleichem Masse erforderliche und theoretisch nothwendige Vegetationsbedingung ist, die Wärme nicht.

**) Vergl. Boussingault: a. a. O. p. 436.

***) Ebenda; doch finden sich daselbst Rechenfehler, die hier corrigirt worden sind.

†) Auf ähnliche Weise haben auch andere Forscher Berechnungen angestellt; vergl. H. Hoffmann: Grundzüge der Klimatol. 1858 p. 523 u. f. Siehe auch H. Krutzsch: Chem. Ackersmann 1865 p. 89 u. Jahresbericht für Agrikulturchemie 1865 p. 70, besonders 73—74.

Kingston	122	Tage	17,°2 C	2198
Cincinnati	137	„	15,°7	2069
Quinchugni	181	„	14,°0	2534
Turmero	92	„	24,°0	2203
Mühlhausen (Thüring.)	176	„	11,°14	1960

Dergleichen Berechnungen hat Boussingault nun für eine Reihe von Kulturgewächsen ausgeführt und in vielen Fällen ist die erzielte Uebereinstimmung ebenso befriedigend; bei den *Kartoffeln* freilich nicht, wo die Wärmesumme für Alois 3228, für Mühlhausen in Thüringen nur 2078 beträgt. Immerhin kann aus den berechneten Zahlen geschlossen werden, dass der Vegetationsprocess um so schneller verläuft, je höher (innerhalb gewisser Grenzen) die Temperatur steigt, und diese Thatsache kann ja nur als eine Bestätigung früher besprochener Verhältnisse *) angesehen werden.

Trotzdem muss aber mit voller Bestimmtheit die von Boussingault gezogene Schlussfolgerung, dass eine Pflanze unter allen Umständen zur Vollendung ihres Kreislaufs gleiche *Wärmemengen* nothwendig hätte, als auf einer Reihe von Irrthümern beruhend zurückgewiesen werden; und es muss Dies mit um so grösserer Energie geschehen, als sich leicht neue Trugschlüsse an diese Vorstellung anknüpfen. Es genügt für unsern Zweck darauf hinzuweisen, dass unsere Methode Temperaturen auszudrücken, eine *rein willkührliche* ist, dass man bei Gebrauch der Fahrenheit'schen Grade ganz andere Wärmesummen **) und ausgehend vom absoluten Nullpunkt sogar Wärmesummen erhalten haben würde, die ungefähr der Vegetationsdauer proportional also höchst ungleich geworden wären. Ausserdem entspricht offenbar die Höhe einer Temperatur durchaus *nicht dem Empfangen einer gewissen Wärmemenge*, welch' letzterer Ausdruck dann wieder leicht die irrthümliche Vorstellung erweckt, als leiste die Wärme bei der Vegetation eine Arbeit. ***)

Kurz jene Abhängigkeit des Verlaufs der Vegetationserscheinungen von der Temperatur zugestehend, kann die Uebereinstimmung der Wärmesummen, †) da wo sie wirklich und, ohne willkührlich an den Zahlen zu corrigiren, festgestellt ist, nur auf einer Zufälligkeit beruhend angesehen werden. Es ist unnöthig, dem Gesagten ein Wort hinzuzufügen.

Mit dieser Betrachtung der Abhängigkeit der Vegetationserscheinungen von den Wärmeverhältnissen ist eigentlich unsere Untersuchung über die Bedingungen des Gedeihens der Pflanzenwelt, mit dem wir uns in diesem ersten Theil unserer Vorträge

*) Wir haben ja in der letzten Vorlesung gesehen, dass ein jeder einzelner Vegetationsprocess von Temperaturverhältnissen abhängig ist und bis zu einer gewissen (für die realen Verhältnisse ziemlich hochliegenden) Temperatur mit derselben steigt, so dass das Gesammtresultat in demselben Sinne ausfallen muss.

**) Nicht etwa blos proportionale Aenderungen.

***) Uebrigens entspricht ja auch die Vollendung einer Vegetationsperiode durchaus nicht einer gleichen Produktion an Pflanzensubstanz.

†) Vergl. auch die Bemerkungen H. Hoffmann's: A. a. O. p. 529.

beschäftigen wollten, als beendigt anzusehen; doch haben wir noch vor dem endgiltigen Abschluss dieses Theils eine Anzahl von Bemerkungen zu machen, theils um den Einfluss einer schon abgehandelten Vegetationsbedingung zu erweitern, theils um *die Unabhängigkeit* des Pflanzenwachsthums von manchen Verhältnissen, die auch wohl gelegentlich als Vegetationsbedingungen angesehen worden sind, nachzuweisen. Ich kann in Bezug auf diese Gegenstände sehr kurz sein.

Wir haben gleich bei Beginn unserer Betrachtungen in den ersten Vorlesungen die hohe Bedeutung des Sonnenlichts für das Pflanzenleben kennen gelernt. Das Sonnenlicht ist nicht allein (fast ausnahmslos) eine der Grundbedingungen des Entstehens jenes wichtigen Apparats, der chlorophyllhaltigen Zelle, und in allen Fällen, die zur Produktion von organischer Substanz geradezu unentbehrliche arbeitende Kraft in jenem Apparate und damit die einzige äussere Kraftquelle für alle die vielen Thätigkeiten des gesammten Organismenlebens, es übt auch noch andere Einflüsse auf die Pflanzenwelt aus, von denen man auch sagen kann, dass sie nicht von den Gewächsen würden entbehrt werden können. Diese Einflüsse konnten damals, wo von jener hervorragenden Bedeutung des Lichts ausführlich die Rede war, nicht wohl zweckmässiger Weise besprochen werden; und auch hier werde ich mich auf Andeutungen zu beschränken haben, da der Gegenstand eine befriedigende theoretische Bearbeitung noch kaum erfahren hat, und weitere praktische Folgerungen aus demselben (wegen der schon genugsam aus der anderweitigen Bedeutung des Lichts für das Pflanzenleben hervorgehenden Würdigung dieser Produktionsbedingung) nicht wohl gezogen werden können.

Eine hierhergehörige Thatsache haben wir schon einmal kurz berührt. Es musste bei der Betrachtung von etiolirten *) (bei Ausschluss von Licht erzogenen) Pflanzen sogleich auffallen, dass diese abnorm gebildeten Pflanzen, ausser dem Mangel der grünen Färbung, deren Ausbleiben nach den uns damals schon bekannten Bedingungen der Ausbildung des Chlorophyllorgans erwartet werden konnte, auch noch eine von der gewöhnlichen sehr abweichende Gestaltung aller ihrer oberirdischen Organe zeigten. Es genügt also, eine etiolirte Pflanze nur ganz obenweg zu betrachten, um noch auf eine andere Wirkung des Lichts auf die Vegetation aufmerksam zu werden, auf die *formbildende Wirkung* desselben.

Diese Wirkung des Lichts auf die Formbildung der Pflanzen, die nur an chlorophyllhaltigen Pflanzen beobachtet wurde, ist sehr mannigfacher Art. Das Aussehen der etiolirten Pflanze lehrt, dass der Ausschluss des Lichts auf noch im Wachsthum begriffene (unter normalen Verhältnissen) chlorophyllhaltige Organe in zwei Richtungen einwirkt. Die Pflanze wird um das Mehrfache länger als unter gewöhnlichen Umständen, und die Laubblätter zeigen eine viel unbedeutendere Flächenausdehnung. Wir müssen es dabei gänzlich unterlassen, die Art und Wirksamkeit des Lichts verstehen zu suchen, da die Wachsthumserscheinung an sich so viel Räthselhaftes birgt, dass vorerst keine Hoffnung vorhanden ist, die Veränderungen dieser Wachsthumserscheinungen beim Wechsel der äusseren Bedingungen zu begreifen. Das Fehlen der Spannungserscheinungen an allen bei Ausschluss des

*) Siehe die fünfte Vorlesung p. 64.

Lichts sich entwickelnden Organen scheint ferner für diese Umstände charakteristisch zu sein, und hierin liegt jedenfalls ein für spätere Erklärungsversuche beachtenswerther Punkt. Der durch Betrachtung der etiolirten Pflanze sich ergebende Einfluss des Lichts auf die Formbildung der Pflanze würde ausgedrückt werden können, als ein den grünen Organen eine gedrungenere, breitere Gestaltung, ein kräftigeres, stärker verholztes und gespannteres Gewebe verleihender. *)

Ein weiterer Einfluss des Lichts auf die Gestaltung der Pflanze ergibt sich aus Beobachtungen, die man nicht an völlig vom Lichte abgeschlossenen Exemplaren, wohl aber an solchen, die ein wenn auch schwaches Licht vorzugsweise von einer einzigen Seite her erhalten, anstellen kann. Bei solchen Pflanzen zeigt sich in der Regel eine Biegung der oberirdischen Organe nach dem Lichte zu, — eine Wirkung, welche nur durch relative Verkürzung der dem Lichte ursprünglich zugekehrten Stengelseite, resp. durch einseitige Verlängerung der entgegengesetzten Seite herbeigeführt werden kann. Ganz ähnliche Beobachtungen macht man bekanntlich an im vollen Lichte stehenden Pflanzen, wenn sie, wie dies ja auch in der Natur immer der Fall sein muss, von verschiedenen Seiten ungleich stark belichtet werden. Pflanzen, die am Fenster stehen, wenden, wie man täglich beobachten kann, ihre grünen Organe dem Lichte zu, und der Stiel eines jeden Blattes zeigt ganz denselben Mechanismus. Auch bei Gewächsen im Freien kann das Gleiche beobachtet werden, nemlich Einstellung der chlorophyllhaltigen Organe gegen den Mittagsstand der Sonne u. s. f. Bei manchen Pflanzen geht die Vollkommenheit des in Rede stehenden Mechanismus so weit, dass die grünen Organe eine tägliche Drehung, entsprechend dem verschiedenen Stand der Sonne, zeigen.

Wir wollen uns hier gänzlich von der Theorie **) der beschriebenen Erscheinung emancipiren und nur von dem Nutzen ***) sprechen, den dieselbe für den pflanzlichen Organismus haben kann. Der *positive Heliotropismus,* wie wir die eben besprochene Erscheinung, bei der die Seite des vom Lichte getroffenen (und die Bewegung veranlassenden) Organs relativ verkürzt wird, nennen, hat offenbar für eine chlorophyllhaltige Pflanze, die an einem ziemlich düstern, für das Leben einer solchen Pflanze nicht geeigneten Orte sich befindet, einen bedeutenden Vortheil. Die unter solchen Umständen sich unverhältnissmässig in die Länge streckenden und vermöge der heliotropischen Wirkung auf die Lichtquelle zuwachsenden Organe werden der Pflanze mit einiger Wahrscheinlichkeit die Aussicht verschaffen, mit diesen

---

*) Es ist hier wieder der in der fünfzehnten Vorlesung gelegentlich besprochenen Erscheinung einer mässigen Etiolirung mancher Kulturgewächse bei dichtem Bestand Erwähnung zu thun.

) Nur die Andeutung möge hier einen Platz finden, dass einige Aussicht vorhanden ist, den positiven Heliotropismus auf dieselbe Weise zu erklären, wie die Längsstreckung wachsender Organe bei Lichtmangel, insofern nemlich die dem Lichte zugekehrte Seite des heliotropischen Organs durch relative Verkürzung die Bewegung veranlasst. Man kann also nach dem Vorgang de Candolle's einfach ein schnelleres Wachsthum der Seite, die weniger Licht empfängt, annehmen, wodurch diese eine Thatsache auf jene andere zurückgeführt wäre; vergl. p. 246 Anm. *).

***) Wie wir nach Aufgeben des teleologischen Standpunkts anstatt „Zweck“ wohl besser sagen.

Organen dem düsteren Raume zu entrinnen, dann am Lichte ihr Chlorophyllorgan kräftig zu entfalten und so die Pflanze unter normale Vegetationsverhältnisse zu bringen. Man wird nun vielleicht sagen, dass diese Vorstellung von den in unsern Kellern aufbewahrten Kartoffeln, die zu keimen beginnen, entlehnt sei, dass es draussen in der Natur keine Verhältnisse gebe, wo Pflanzen sich in einem dunklen Raume befinden und wo ihre oberirdischen Organe diesem Raume rasch entfliehen können. Allein es ist auf die natürliche Lage der Pflanzen aufmerksam zu machen, da wo der Mensch nicht eingreift, und sie in freier Wettbewerbung um ihr Dasein kämpfen, und eine die andere zu ersticken und zu überwuchern droht. Die ausgezeichnete Fähigkeit für unter solchen Umständen schwach beleuchtete (von andern überschattete) Pflanzen, lange Triebe dem Lichte entgegenzustrecken, ist eine so augenscheinliche Waffe in jenem Kampfe, dass der Vortheil jener Einrichtung auf der Hand liegt. Es ist hier weiter an die im Schosse der Erde keimenden Samen zu erinnern, deren nach Oben wachsender Stamm um so rascher sich streckt, je grösser die Dunkelheit ist, *) in der es sich befindet, und so auch der des tiefer liegenden keimenden Samens eine erhöhte Aussicht hat, das Licht der Welt zu erblicken und an der Oberfläche der Erde seiner normalen Vegetationsbedingungen zu geniessen. In dieser Weise hat man nach meiner Meinung die Vortheile des positiven Heliotropismus für stark wachsende Keimlinge und Schösslinge, die gleichzeitig die Fähigkeit haben, bei Lichtmangel ein unverhältnissmässiges Längenwachsthum zu zeigen, im Allgemeinen aufzufassen.

Von noch unzweideutigerer Nützlichkeit ist der positive Heliotropismus bei nahezu **) ausgewachsenen grünen Organen. Die Eigenschaft, in den Spannungsverhältnissen auf das Licht zu reagiren, kommt vorzugsweise solchen Pflanzentheilen zu, welche durch die von ihnen in Folge des Lichtreizes ausgeführte Bewegung die Blätter in eine *für ihre Thätigkeit möglichst günstige Lage* bringen. Die Blattstengel neigen, biegen und drehen sich in Folge eines hier nicht näher zu erörternden Mechanismus in einer Weise, dass die Laubblätter ihre Fläche der durchschnittlichen täglichen Beleuchtungsrichtung ziemlich vollkommen darbieten, oder auch wohl, wenn jene Einrichtung in ihrer grössten Vollkommenheit vorhanden ist, sie ziemlich senkrecht auf den zu einer jeden Tagesstunde einfallenden Strahl einstellen. Dass diese Verhältnisse in mehr oder weniger hohem Grade bestehen, ist aus für Jedermann leicht anzustellenden Beobachtungen von Pflanzen, die an dem Fenster eines Zimmers aufgestellt sind, deutlich zu ersehen, und auch aus der Lage der Blätter irgend eines im Freien befindlichen Gewächses, die fast immer eine zur vollständigen Abfangung

*) Hierbei ist freilich nicht ausser Augen zu lassen, dass schon bei geringer Tiefe unter der Erdoberfläche eine absolute Finsterniss herrscht und dass die tiefer liegenden Samen keinen Antrieb zu einem noch rascheren Längenwachsthum empfangen. Daher rührt es denn auch, dass die landwirthschaftliche Praxis ein zu tiefes Betten der Samen, obgleich damit immer günstigere Temperatur- und Feuchtigkeits-Verhältnisse erreicht werden würden, durchaus nicht gutheisst. Die Keimlinge kommen um so mehr geschwächt über die Erde, je tiefer der Same untergebracht war.

**) Die Möglichkeit eines noch weiteren Wachsthums scheint für die Befähigung eines Organs zur heliotropischen Krümmung wesentlich zu sein d. h. die heliotropische Wirkung nur in (wenn auch langsam) wachsenden Organen zur Geltung kommen zu können.

des Lichts annähernd möglichst zweckmässige ist, kann man das Gleiche erkennen.

So kann an dem bedeutenden Nutzen, den diese weitern Lichtwirkungen für die grüne Pflanze haben, gar nicht gezweifelt werden, und dieselben sind einfach aufzufassen als jener ersten und wichtigsten Thätigkeit des Sonnenlichts in der chlorophyllhaltigen Zelle unter die Arme greifend. Es hat, da wir uns mit dem theoretischen Studium der besprochenen Erscheinungen nicht befasst haben, wenig Interesse für uns, zu erfahren, dass auf experimentellem Wege festgestellt werden konnte, dass in diesem Falle nicht den leuchtenden, sondern den *chemischen* Strahlen die Hauptwirkung zukomme; allein man ist so zu der Auffassung berechtigt, dass die brechbarsten Strahlen die grünen Organe in die möglichst günstige Lage bringen, zur Abfassung der anderen minder brechbaren Strahlen, welche die chemische Arbeit der Produktion von organischer Substanz in ihnen leisten, gerade wie ein zu operirender Patient vom Assistenten des Chirurgen in die geeignetste Position gebracht und festgehalten wird, während von diesem die Operation vollzogen wird.

Neben dem positiven Heliotropismus ist nun auch, aber niemals an den unmittelbaren Trägern der grünen Blätter, sondern nur an schlingenden Stämmen, Ranken und dergl., ein *negativer Heliotropismus* *) beobachtet worden, der nach der gegebenen Erläuterung der entgegengesetzten Bezeichnung Nichts Anderes bedeuten kann, als Verlängerung der dem Lichte zugekehrten Seite von pflanzlichen Organen, wodurch eine Abwendung derselben vom Lichte erfolgt. Auch die Nützlichkeit dieses Verhaltens kann in den meisten Fällen leicht eingesehen werden, indem die schlingenden Organe durch den Reiz des Lichtes an den zu umschlingenden Gegenstand sanft angedrückt und so im Festhalten unterstützt werden.

Eine ganz ähnliche Erscheinung, die auch dem negativen Heliotropismus beigezählt werden muss, hat man an den Wurzeln beobachtet, wenn sie in der Erde sich mannigfach nach allen Richtungen verzweigend mit einer jungen Spitze an die Oberfläche der Erde gelangen. In diesem Falle, wo die Schwerkraft, als die Richtung der Wurzelverzweigungen bestimmender Impuls nicht ausreicht, wirkt das Licht und zwingt die Wurzelspitze zur Umkehr, wie durch den Vergleich mit im Dunkeln in einem Blumentopf entwickelten Pflanzen leicht gefunden werden kann, denn hier findet man häufig die Wurzelendigungen sich auf der Oberfläche der Erde mannigfach verzweigend. Auch in dieser eigenthümlichen Wirkung ist der Nutzen der bestehenden Beziehung leicht erkenntlich, indem das Licht vermöge einer weiteren (in ihren Ursachen zwar uns völlig unverständlichen) Wirkung, einen schädlichen Einfluss auf die Entwicklung der Wurzel wie vieler andern unter normalen Verhältnissen sich im Dunkeln entwickelnder Organe ausübt.

Ausser der formbildenden und heliotropischen Wirkung des Lichts, der wir eine kurze Beachtung geschenkt haben, sind nun noch verwickeltere Einwirkungen desselben auf das Pflanzenleben bekannt, die nicht unter diese Gesichtspunkte gebracht werden können, für die aber bis zur Stunde eine Nützlichkeit nicht eingesehen worden ist. Es tritt bei manchen Pflanzen im hinreichend intensiven Lichte ein

---

*) Diese Erscheinung kann natürlich nicht aus demselben Gesichtspunkte erklärt werden, welcher für die Erklärung des positiven H. möglich erscheint.

eigenthümlicher Zustand des Gewebes mancher Organe ein, der sie zur Ausführung periodischer Bewegungen, die in ihrer Richtung von den geometrischen Verhältnissen des einfallenden Lichts unabhängig sind, und sich auch über die Dauer der Insolation hinaus fortsetzen, befähigt. Dieser Zustand, der die betreffenden Organe zugleich Reizbewegungen zugänglich macht, wird als *„Phototonus"*, der Verlust desselben, welcher bei längerem Verweilen im Dunkeln eintritt, als *„Dunkelstarre"* bezeichnet. Es hat für uns natürlich aus den oben angeführten Gründen gar keinen Zweck, näher auf diese geheimnissvollen Erscheinungen einzugehen. *)

Im Ganzen kann aus der Darstellung dieser Wirkung des Lichts auf die Pflanze ersehen werden, dass die Beziehungen zwischen Pflanzenleben und Beleuchtung viel complicirtere sind, als wir nach den zuerst hervorgehobenen Verhältnissen vermuthen konnten, aber auch zugleich, dass für die landwirthschaftliche Praxis kaum ein Nutzen **) aus diesen Erweiterungen der schon von Anfang an erkannten Bedeutung des Sonnenlichts erwartet werden darf. Schon jene ersten Gesichtspunkte liessen das Licht als eine absolut unentbehrliche Vegetationsbedingung erkennen, und daraus wird es uns später möglich sein, wichtige Gesetzmässigkeiten für die Pflanzenproduktion abzuleiten. Die weitere Erkenntniss von nützlichen Wirkungen des Lichts, die überdies bis jetzt kein erhebliches theoretisches Interesse besitzen, für die Vegetation, wird nicht vermögen, der Bedeutung jener Schlussfolgerungen Etwas hinzuzusetzen.

Den letztbehandelten oder -genannten Lichtwirkungen nicht unähnliche Einflüsse auf das Pflanzenleben übt die Schwerkraft aus, ein Gegenstand, ***) dessen Behandlung uns aus denselben Gesichtspunkten erspart bleiben mag. Ich beschränke mich hier auf die Andeutung, dass die relative Lage der einzelnen Organe der Gewächse durch eine unerklärte aber exakt bewiesene Einwirkung der Gravitatien (oder auch irgend eine andere Beschleunigung wie die der Fliehkraft) auf die molekulare Anordnung der beim Wachsthum sich einlagernden Theilchen bewirkt wird, und auf diese Weise die Wurzel bestimmt wird, nach Unten, die blättertragenden Stammtheile, nach Oben zu wachsen — eine Einrichtung, ohne die ebenfalls das Bestehen der Pflanzenwelt kaum gedacht werden kann.

Noch einige andere Punkte bleiben zu erledigen übrig, welche wesentlich in der *Zurückweisung* noch weiterer (als solche angesehener) Vegetationsbedingungen bestehen.

Man hat in neuerer Zeit ausgesprochen, †) dass der *Raum,* der einer Pflanze zur Verfügung stehe, *ein Produktionsfaktor* derselben sei, oder dass es gelinge, lediglich durch Variation dieses Raumes die Produktionsgrösse einer Pflanze zu reguliren. Das Letztere ist ohne allen Zweifel in sofern richtig, als eine Pflanze,

*) Ausführlicheres über diesen Gegenstand findet man bei J. Sachs: Handbuch der Exper. Phys. d. Pfl. p. 39 u. 43; über dies ganze Kapitel der Lichtwirkung ebenda p. 30 bis 46 und über die Theorie aller dieser Vorgänge ebenda p. 490—514.

**) Mit Ausnahme gewisser Folgen des Lichtmangels für die Zartheit der geernteten Pflanzen bei der Spargelzucht und einigen andern Kulturen.

***) Auch hier verweise ich auf die Darstellung von J. Sachs: a. a. O. p. 88—112.

†) Vergl. die Fassung von Hellriegel: Landw. Versuchsst. 1869 p. 112.

die ihre Wurzeln in einem verhältnissmässig kleinen Topfe oder in verhältnissmässig zu kurzem Abstande von anderen Pflanzen entwickelt, sich unter ungünstigeren Vegetationsbedingungen befindet, als eine Pflanze, deren Wurzel eine sehr viel grössere Menge von Erde zu ihrer alleinigen Nutzniessung hat, und auch richtig, insofern eine Pflanze, deren grüne Organe sich nicht gehörig ausbreiten können oder von den Blättern benachbarter Pflanzen zusammengedrückt oder bedeckt werden, ebenfalls unter weit schwierigeren Bedingungen um ihre Existenz kämpft, als eine andere, für welche diese Einschränkungen nicht vorhanden sind. Allein jene Ausdrucksweise gibt leicht zu einem Missverständnisse Veranlassung: denn im ersteren Fall stehen der Pflanze in dem kleineren Erdvolum weniger Nährstoffe zur Verfügung, im zweiten Falle weniger Licht, und so muss festgehalten werden, dass wir es hier nicht mit einer neuen Vegetationsbedingung, sondern mit einem *Modus* der Erfüllung schon bekannter Bedingungen zu thun haben, der unter Umständen durch Concentration der Nährstoffe und des Lichts bis zu einer gewissen Grenze umgangen werden kann. *Derjenige* Raum, *den die Pflanze durch ihr eignes Volum einnimmt,* kann ferner bei der *praktischen* Erfüllung der Vegetationsbedingungen gar nicht in Betracht kommen, weil doch aus anderen Gründen unter allen Umständen weit grössere Räume zur Verfügung stehen müssen.

Es ist nicht so unwichtig, wie es hier erscheinen mag, auf ein mögliches Missständniss dieses Punktes aufmerksam zu machen, weil es sich für unsere späteren Betrachtungen darum handelt, die Vegetationsbedingungen der Pflanze genau zu kennen und in möglichst präciser Form zu fassen.

Auch von der Beziehung *elektrischer Kräfte* zum Pflanzenleben hat man schon viel Wesens gemacht, und häufig hat die Annahme des Mitwirkens elektrischer Vorgänge bei den Vegetationserscheinungen den Mangel an der Kenntniss der wirklichen Ursachen derselben verdecken sollen.

Es kann in Bezug auf diesen Gegenstand mit einem Worte gesagt werden, *dass bis jetzt kein Grund vorliegt, anzunehmen, dass elektrische Kräfte irgend welche Rolle im Leben der Pflanze spielen;* und alle künstlich herbeigeführten Wirkungen der Elektricität auf die physiologischen Vorgänge in der Pflanze haben demgemäss sich als diese Vorgänge *beeinträchtigende,* niemals als befördernde erwiesen. Es könnte nun hiermit die ganze Sache als erledigt angesehen werden, wenn es sich nicht darum handelte, den eingenommenen Standpunkt den vielfach herrschenden Meinungen gegenüber mit einigen Worten zu vertheidigen.

Zunächst mag daran erinnert werden, dass im thierischen Organismus die Elektricität eine grosse Rolle spielt, und dass Dies wohl ursprünglich der Grund gewesen ist, nach elektrischen Erscheinungen in der Pflanze zu fahnden. Jedoch der ganze Apparat, der im thierischen Organismus als der Sitz der elektrischen Erscheinungen angesehen werden muss, konnte in der Pflanze nicht (auch nicht in entfernten Andeutungen) aufgefunden werden. Diese besitzt kein Nervensystem und mit demselben fehlen ihr alle Empfindungs- und diejenigen Bewegungserscheinungen, deren Anstoss wo anders als in dem bewegten Organe liegt.

Ein eigentlicher elektromotorischer Apparat ist also in der Pflanze unseres Wissens nicht vorhanden, und wenn es gelingt, durch eigenthümliche Anordnung

abgeschnittener Pflanzentheile galvanische Ströme sehr geringer Intensität *) zu erzeugen, so ist diese Erscheinung der chemischen Differenz des in leitender Verbindung stehenden Zellsafts verschiedener Gewebetheile (z. B. Parenchym und Cambiform) zuzuschreiben und derselben vermuthlich kein Bestehen oder mindestens keine physiologische Bedeutung in der lebenden Pflanze zuzuerkennen. **)

Etwas ganz Anderes ist die Anwendung der Elektricität als Untersuchungsmittel in der Pflanzenphysiologie. Als solches kann derselben natürlich unter Umständen eine hohe Bedeutung eingeräumt werden. Allein alle elektrischen Einwirkungen haben sich, wie schon angeführt wurde, als die einzelnen Vegetationsvorgänge schädigend erwiesen. Das sich bewegende Protoplasma, von elektrischen Schlägen getroffen, steht still; ***) die Spaltöffnungen der grünen Organe schliessen sich unter diesem Einflusse. Ebenso verhalten sich die Bewegungsorgane empfindlicher Blätter einem elektrischen Reize gegenüber, wie sie sich gegen irgend eine Strömung anderer Art, z. B. eine starke mechanische Erschütterung verhalten u. s. f. Kurz die Aenderungen, welche durch die Anwendung von Elektricität bewirkt werden, sind genau dieselben, wie sie auch durch starke chemische Reagenzien, abnorme Temperaturen, ungewohnte mechanische Bewegungen hervorgebracht werden, und so lässt sich mit vollem Rechte die Elektricität als ein das Pflanzenleben störendes Agens bezeichnen.

Unter den Bedingungen des Pflanzenwachsthums werden wir daher vorerst der Elektricität keinen Platz anzuweisen haben. †)

Hiermit wäre denn *der erste Theil*, in welchem die Vegetationsbedingungen der höheren chlorophyllhaltigen Pflanze festgestellt werden sollten, als beendigt anzusehen.

Die Resultate unserer in den beiden letzten Vorlesungen angestellten Betrachtungen lassen sich ungefähr in folgender Form zusammenfassen.

1) Eine jede Pflanze muss zur Vollendung einer jeden einzelnen Lebenserscheinung sich zwischen zwei Grenztemperaturen befinden, jenseits welcher diese Erscheinungen aufhören.

---

*) Vergl. J. Sachs: Handbuch d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 83, und über den ganzen Gegenstand ebenda p. 74—87.

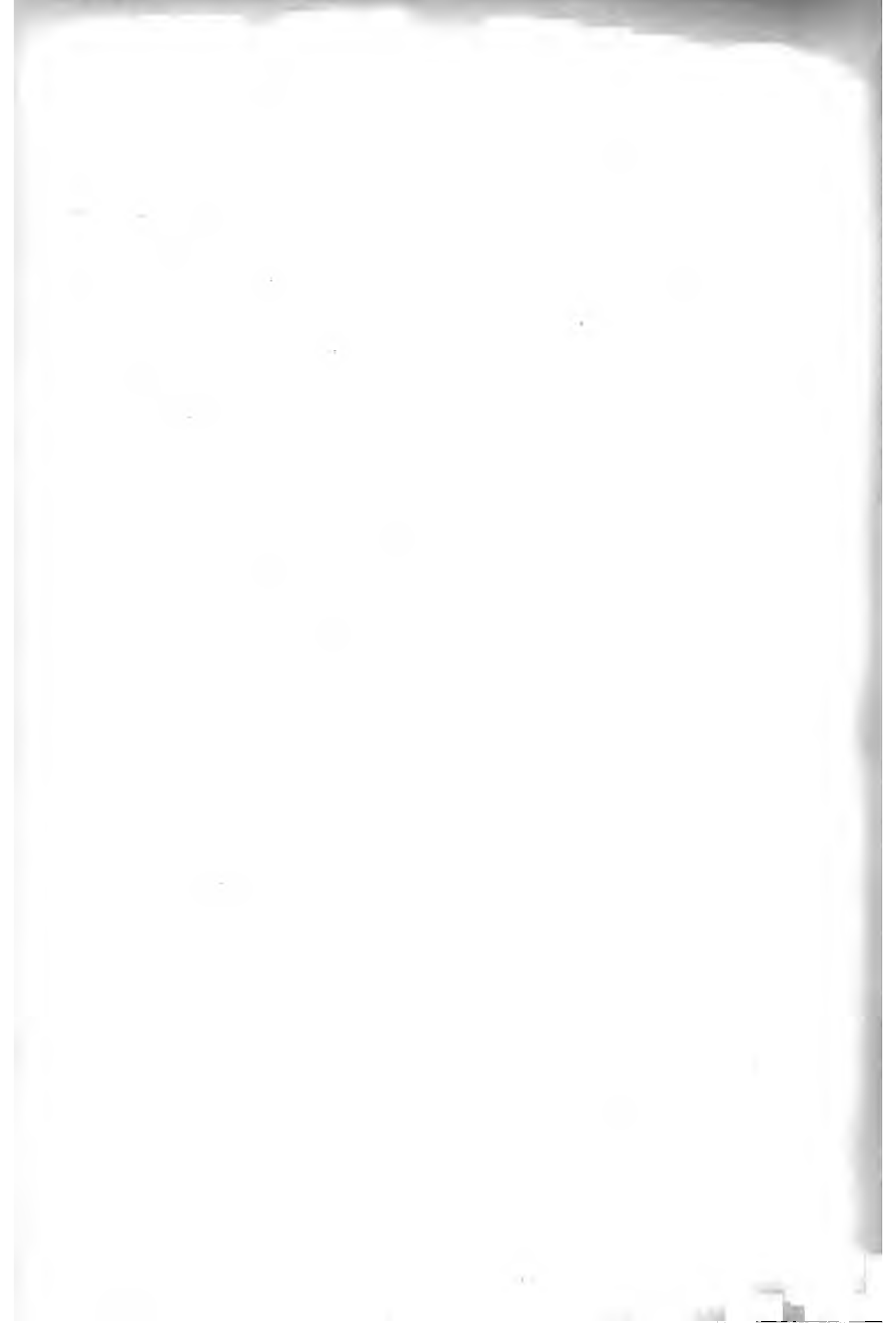
**) Es ist freilich nicht mit Bestimmtheit auszusprechen, dass der elektrischen Differenz der durch Membranen getrennten Zellflüssigkeiten, die in der Pflanze thatsächlich in sehr geringem Grade besteht, nicht eine nützliche Wirkung bei osmotischen Vorgängen in derselben zukommen kann, da wir mit Bestimmtheit wissen, dass solche elektrische Differenzen osmotische Ströme erzeugen können. Allein nachgewiesen ist von dem Allen Nichts.

***) Die Bewegungen des Protoplasma leiden weit mehr durch Stromschwankungen als durch absolute Stromintensitäten, wie aus angestellten Versuchen hervorgeht.

†) Es ist desshalb von einiger Wichtigkeit diesen Satz auszusprechen, weil man nicht blos der Elektricität direkt neben Wärme und Licht einen Platz in der Pflanzenphysiologie eingeräumt hat, sondern sogar zuweilen Mährchen aufgetaucht sind und in wissenschaftlichen Zeitschriften abgedruckt worden sind, nach welchen durch die Erzeugung eines elektrischen Stroms in dem Umkreis eines Grundstücks bedeutende Ertragssteigerungen bewirkt worden sein sollen. Vergleiche Helmert: Jahresbericht für Agrikulturchemie 1859—60 p. 172; J. Fichtner u. Söhne: ebenda 1861—62 p. 284.

2) Das Aufhören aller der bekannten charakteristischen Lebenserscheinungen in Folge der Ueberschreitung jener Grenztemperaturen fällt noch nicht nothwendig mit dem Tod der Pflanze zusammen. Wird innerhalb einer gewissen Zeit die erforderliche Temperatur wieder hergestellt, so kehren auch in vielen Fällen jene Lebenserscheinungen wieder zurück.
3) Ob ein völliges Erlöschen der Lebenserscheinungen eintritt oder nicht, das hängt neben dem Grad der Ueberschreitung jener Temperaturgrenzen auch wesentlich ab von der Schnelligkeit, mit der die normalen Temperaturen hergestellt werden. Uebersteigt die Schnelligkeit eine gewisse Grösse, so tritt der Tod ein, während die Pflanze durch langsames Zurückbringen auf die günstige Temperatur, unter sonst gleichen Umständen hätte gerettet werden können.
4) Es gibt jedoch ein Ueberschreiten der Grenztemperaturen, das unfehlbar den Tod der Pflanze herbeiführt.
5) Das Erfrieren der Pflanzen hat mit der Eisbildung in ihrem Innern Nichts zu thun.
6) Es sind wesentlich nur Wärmeverhältnisse, die im Grossen und Ganzen die Vertheilung der Pflanzen auf der festen Erdoberfläche bedingen.
7) Die polaren Grenzen der Verbreitung der einzelnen Pflanzenarten werden nicht durch die Jahres-Isothermen allein bestimmt.
8) Dem Lichte kommen ausser der Thätigkeit in der chlorophyllhaltigen Zelle noch eine Reihe von andern nützlichen Wirkungen auf die grüne Pflanze zu.
9) Elektrische Kräfte befinden sich nicht unter den äusseren Vegetationsbedingungen.

C. F. Winter'sche Buchdruckerei in Darmstadt.



Tafel I.

C. Winter's Universitätsbuchhdlg. Heidelberg.

1

2

3

Intensität der chemischen Wirkung.

Intensität der Wärmewirkung.

Intensität der leuchtenden Wirkung.

Roth Orange Gelb Grün Blau Indigo Violett Ultraviolett

A B C D E F G H

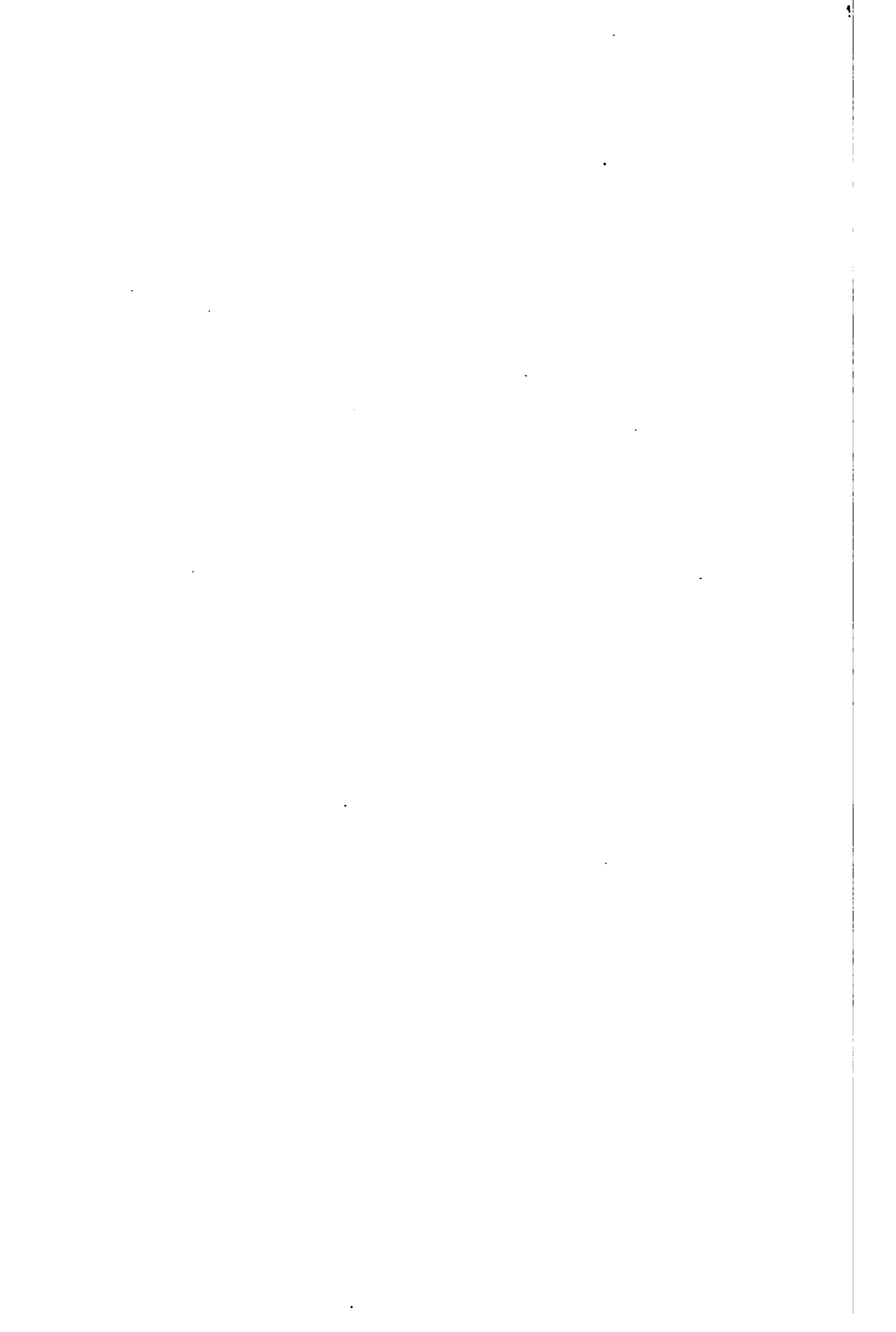
Kurve 1: Intensität der Wirkung der einzelnen Strahlengattungen auf Sauerstoffabscheidung aus Chlorophyll-haltigen Pflanzentheilen (nach Versuchen von C. Timirjaseff mit vier verschiedenen Lösungen).
Die Kurven 1, 2, 3 sind der Darstellung Timirjaseff's (bot. Zeitung, Jahrg. 27. Taf. III), die Kurve 4 einer von Bunsen entworfenen Zeichnung entnommen. Sämmtliche Kurven sind abgerundet.

Lithogr. geograph. Anst. v. Ed. Wagner, Darmstadt.





Lithograph. geograph. Anstalt v. Ed. Wagner in Darmstadt.



LEHRBUCH

DER

AGRIKULTURCHEMIE

IN VIERZIG VORLESUNGEN

ZUM GEBRAUCH AN UNIVERSITÄTEN UND HÖHEREN LANDWIRTH-SCHAFTLICHEN LEHRANSTALTEN SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

DR. ADOLF MAYER,

PRIVATDOZENT DER AGRIKULTURCHEMIE AN DER UNIVERSITÄT HEIDELBERG.

ZWEITER THEIL.

DIE THEORIE DES FELDBAUES.

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1871.

Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichniss

des zweiten Theils.

Erster Abschnitt.

Der Boden.

Zweiter Abschnitt.

Die Düngung.

Druckfehler und Verbesserungen.

I. Theil.

Seite 8 Zeile 20 v. oben, lies: erste, statt: erst.
„ 8 „ 16 v. unten, lies: verwirren, statt: verwickeln.
„ 11 „ 4 u. 5 v. oben, lies: im organischen Theile, statt: in organischen Theilen.
„ 22 „ 17 v. unten, lies: eingesehen, statt: angesehen.
„ 284 „ 19 v. oben, lies: Zusammenstellungen, statt: Zusammensetzungen.

Vom Büchertische.

Die **Grundsätze der Volkswirthschaftslehre** vom Standpunkte der sozialen Reform gemeinverständlich entwickelt von Dr. **Heinrich Maurus.** Heidelberg, Carl Winter'sche Universitätsbuchhandlung. gr. 8°. brosch. 2 Thlr. 6 Sgr.

Die Bezeichnung „Gemeinverständlich entwickelt" erweist sich bei dem vorliegenden Buche keineswegs als gleich auf's Titelblatt verlegte Reklame, wie sie eines ernsten wissenschaftlichen Werkes auch ganz unwürdig wäre. Es genügt schon eine flüchtige Lektüre, um zu finden, daß der Verfasser in Wahrheit bestrebt war, eine wirklich lesliche, frische Darstellung der wichtigsten Lehren und Streitfragen der Wirthschaftslehre zu bieten. Ohne die sonst unvermeidliche Wuth von Citaten und Anmerkungen, in klarer, fließender und doch präciser gedrungener Ausdrucksweise und mit Vermeidung aller Gelehrtthuerei verbreitet sich das wenig über dreißig Bogen starke Buch über das Gesammtgebiet der Volkswirthschaft und die darauf spielenden Socialfragen. Daß der Verfasser hierbei kühn genug ist, das ausgetretene Geleise der das Kapital und Handelsinteresse obenan stellenden, und dem Grundbesitz- und Arbeiterinteresse feindlichen englischen Schule zu verlassen, und statt dessen theils seine eigenen Wege einzuschlagen, theils sich an das Reformsystem des Amerikaners Carey anzuschließen, kann gewiß nur als ein weiterer Vorzug des Buches gelten. Und was den besonderen Schlüssel betrifft, den dasselbe zur Lösung der Socialfrage an die Hand zu geben vermeint (Beseitigung des Rechtes Kapital unbenutzt zu lassen), so kann man darüber verschiedener und gänzlich abweichender Ansicht sein, wird aber auch dann zugestehen müssen, daß der Verfasser wenigstens den Aufgaben der socialen Reform ein warmes, unerschrockenes Herz und zum Theil auch ein tief eindringendes Verständniß entgegenbringt.

Was das Buch für gebildete Landwirthe noch ganz besonders empfehlenswerth erscheinen läßt, ist die originelle und interessante Art, in der darin gerade die Fragen der Bodenarbeit und des Realkredites besprochen sind. A.

(Aus der Zeitschrift d. landw. Vereins in München).

Die **moderne Besteuerung und die Besteuerungsreform** vom Standpunkte des gemeinen Rechtes dargestellt von Dr. **Heinrich Maurus.** Heidelberg, Carl Winter's Universitätsbuchhandlung. 1870. gr. 8°. brosch. 2 Thlr.

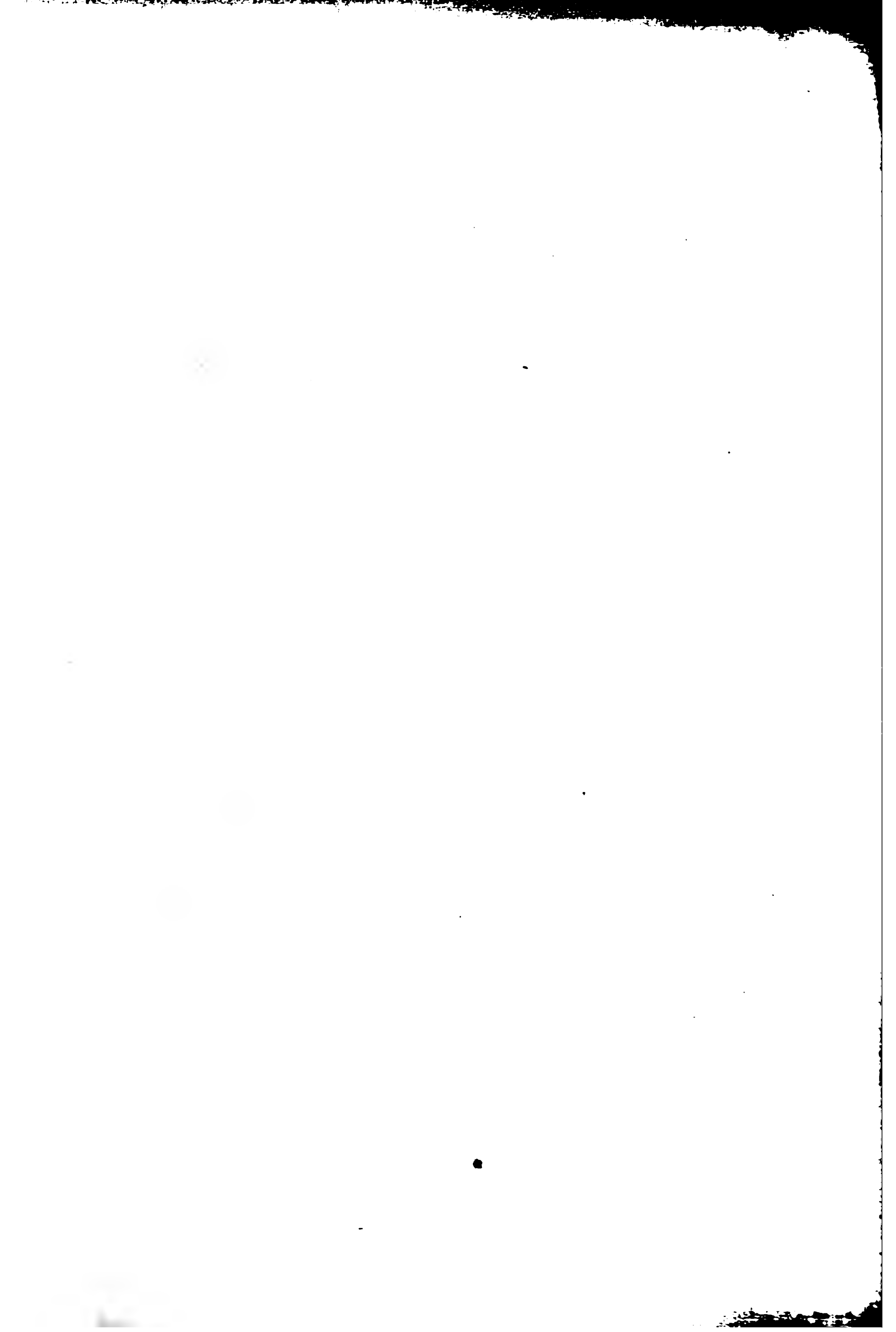
Die seltenen Vorzüge, die wir an des Verfassers früherem Werke: „Die Grundsätze der Volkswirthschaftslehre vom Standpunkte der socialen Reform" zu rühmen hatten, vor Allem eine klare gemeinverständliche Behandlung strengwissenschaftlichen Stoffes, sodann eine wohlthuende Selbstständigkeit der Auffassung und eine ebenso muthvolle, als gründliche Kritik, finden wir auch in dem vorliegenden Buche wieder, dessen Gegenstand zudem ein ganz besonderes Interesse in diesem Augenblick in Anspruch nimmt, wo für die Landwirthschaft die Steuerfrage ebensogut, wie die Creditfrage geradezu eine Lebensfrage geworden ist.

Der Verfasser ist sich denn auch, wie sich bei seinem socialwirthschaftlichen Standpunkte nicht anders erwarten läßt, dieser socialen Bedeutsamkeit und Dringlichkeit einer Reform des bisherigen Besteuerungssystemes vollkommen bewußt und nimmt gerade die Gefahren eines in consequenter Fortführung zum förmlichen fiscalischen Raub-Bau, zur Steuerkraft-Erschöpfung, führenden Steuerwesens zum Ausgangspunkt seiner kritischen Betrachtungen, deren ganze Schärfe vorzüglich auch die auf dem Grund und Boden und der Landwirthschaft lastenden herkömmlichen Steuern und die diesen zu Grunde liegenden falschen Anschauungen gerichtet ist. Eine sehr instructive Zuthat bilden die jedes Kapitel abschließenden statistischen und geschichtlichen Abrisse, wodurch dem Werk zugleich der Werth eines vollständigen Lehrbuches verliehen wird. Zur Verbreitung in solchen Kreisen, denen gründliche Belehrung und populäre Form erwünscht, die Anschaffung von vielen weitschweifigen und gelehrten Büchern aber nicht thunlich ist, wollen wir das vorliegende Buch ganz besonders empfohlen haben.

(Aus der Zeitschrift des landw. Vereins in Bayern. 1870. S. 242).

Erster Abschnitt.

Der Boden.



Vierundzwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Die mineralische Grundlage der Ackererde.

Unsere gesammte bisherige Darstellung hat dazu gedient, uns eine möglichst genaue Vorstellung von den Lebensbedingungen der grünen Pflanzen zu verschaffen. — In dem zweiten Theile unserer Aufgabe, zu dem wir nun übergehen, und welchen wir als *Theorie des Pflanzenbau's* bezeichnet haben, werden wir untersuchen, *wie jene erkannten Lebensbedingungen unter den Verhältnissen, unter welchen der Landwirth seinem Gewerbe obliegt, sich realisiren.*

Wir werden uns bei dieser neuen Aufgabe ganz ausschliesslich auf diejenigen der grünen Gewächse beziehen, welche wir schon in unsern bisherigen Betrachtungen bevorzugten, nemlich auf diejenigen, welche eine Bedeutung für den Feldbau haben, — auf die landwirthschaftlichen Kulturgewächse. Diese sind nun sammt und sonders Landpflanzen und somit Gewächse, die sich an der Grenze zweier Medien, mit den Wurzeln in dem von Wasser befeuchteten *Erdreich,* mit dem grössten Theil des Stamms, den chlorophyllhaltigen Organen, Blüthen und Früchten in der *Atmosphäre* entwickeln.

Um also die bestehenden Verhältnisse aufzufinden, welche die realen Vegetationsbedingungen der Kulturgewächse darstellen, werden wir naturgemäss jene beiden Medien als Träger dieser Bedingungen zu untersuchen und zuzusehen haben, in welcher Weise sich diese letzteren in den verschiedenen Gegenden, Jahreszeiten etc. bei den verschiedenen Kulturen und Kulturmethoden in jenen Medien gruppiren. Alsdann wird uns von selbst das Verständniss aufgehen über den Sinn der menschlichen Eingriffe in die natürlichen Verhältnisse des Pflanzenwachsthums, — in die Bedeutung der Thätigkeit des Ackerbauers.

Wir sind zwar schon in dem vorigen Abschnitt gelegentlich unserer Aufgabe vorangeeilt und haben die Hauptverhältnisse desjenigen Mediums, welches hinsichtlich der Vegetationsbedingungen, die es in sich einschliesst, leicht übersehen werden kann, — der Atmosphäre, schon gelegentlich eingehenderen Betrachtungen unterworfen.*) Wir haben diesen hier nur wenige Worte hinzuzufügen.

Die Atmosphäre, in welche die oberirdischen Organe der Landpflanze eintauchen, ist der Sitz einer Reihe von Vegetationsbedingungen. Dieselbe enthält den *Sauerstoff,* der zum Leben aller Pflanzen, die *Kohlensäure,* die zur Produktionsthätigkeit der grünen Pflanze unentbehrlich ist; sie enthält ferner geringe Mengen

*) Im ersten, zweiten, vierten und auch im fünften Abschnitt.

stickstoffhaltiger Pflanzennahrung. Von dem *Wassergehalt* und der *Wärme* der über der Pflanze ruhenden Luftschicht ist die so wichtige pflanzliche Transpiration in ihrer Intensität durchaus abhängig, von dieser Wärme ausserdem die Möglichkeit aller einzelnen Vegetationsprocesse und sogar ganz unmittelbar die Existenz des pflanzlichen Organismus. Von der *Durchstrahlbarkeit* dieser und der noch höher lagernden Luftschicht ist weiter die Licht- und wiederum die Wärme-Menge abhängig, die der Pflanze zur Verfügung steht, und so ist die atmosphärische Luft in mannigfacher Weise Trägerin oder Vermittlerin von Vegetationsbedingungen, *deren Zufluss und Intensität durch ihre Eigenschaften regulirt wird.*

Trotzdem ist diese Luft dasjenige von den die Kulturgewächse umgebenden Medien, auf die sich die *Aufmerksamkeit und Thätigkeit des Landwirths nur in ganz vereinzelten Fällen erstreckt.* — Es kann nun nicht etwa bezweifelt werden, dass die Abänderung der Eigenschaften der Atmosphäre und der klimatischen Eigenschaften, die mit ihnen in Zusammenhang stehen, in manchen Fällen eine für den Pflanzenwuchs nützliche Massregel wäre. Es kann mit Sicherheit angenommen werden, dass unter vielen Umständen die Vermehrung der Kohlensäure, des gebundenen Stickstoffs, des Wasserdampfs der atmosphärischen Luft, dass die Veränderung der Wärme, der Bewegung, der Durchstrahlbarkeit derselben für das Gedeihen der Pflanzen vortheilhaft wäre.

Der Grund dafür, dass der Landwirth seine Thätigkeit beinahe ganz ausschliesslich auf die Abänderung der Eigenschaften des Bodens erstreckt, kann also nicht darin liegen, dass die Vegetationsbedingungen der Atmosphäre schon etwa alle in sehr vollkommenem Grade vorhanden wären, so dass es sich nur darum handeln könnte, die des Bodens zu vermehren, dass mit anderen Worten die Vegetationsbedingungen des Bodens unter allen Umständen im *Minimum* *) vorhanden wären, so dass nur die Vermehrung dieser Vortheil bringen könnte; denn wäre Dies der Fall, *so würden wir die Grösse unserer Ernten in Wirklichkeit nur von den Eigenschaften des Bodens bedingt sehen, nicht von einer Reihe von Umständen, deren periodisch veränderlichen Theil wir z. B. als Witterung kurzweg bezeichnen.*

Wir müssen also den Grund dafür, dass der Landwirth beim Pflanzenbau nicht auf die Eigenschaften der Atmosphäre einzuwirken sucht, ganz wo anders suchen. In der That, wir brauchen uns nicht lange zu bedenken und nur die eigenthümlichen Eigenschaften der Atmosphäre vor unserm Auge Revue passiren lassen, um zu finden, dass jener Grund einfach in der menschlichen *Unfähigkeit* liegt, auf dieselben in wirksamer Weise einzuwirken.

Diese Eigenschaften lassen sich mit dem einen Worte hinlänglich charakterisiren, dass *die Luft Niemandens Eigenthum* ist. — Wollte Jemand es unternehmen, die Luft oberhalb seines Grundstücks durch irgend ein Mittel an Kohlensäure zu bereichern, er würde (in Folge der Diffusionsfähigkeit dieses gasförmigen Mediums) auch die Luft oberhalb des Grundstücks seiner Nachbarn und ebenso die höheren Luftschichten, die mit der Pflanzenwelt in gar keiner direkten Berührung stehen, an demselben Stoffe bereichern. Man würde also mit sehr grossen Mengen keine merklichen Wirkungen erreichen können. — Man kann Etwas Derartiges nur ausführen durch

*) Nach der in der siebzehnten Vorlesung (p. 280) gegebenen Erläuterung.

Düngung des Ackers mit kohlensäure-entwickelnden Substanzen, also durch Manipulationen, die man *im Boden* vornimmt.

Die gleiche Schwierigkeit, in Folge der nemlichen Eigenschaften *) der Luft würde sich ergeben, wollte man der Luft irgend einen anderen Stoff zuführen, dessen Vermehrung die Vegetation zu steigern im Stande wäre. — Es ist also klar ersichtlich, warum die „Düngung der Luft" (wie wir uns ausdrücken können) eine unausführbare Operation, ein wahres Schöpfen in's Fass der Danaïden sein würde. Die Düngung des Bodens würde genau Dasselbe sein, wenn die demselben einverleibten Düngestoffe die analoge Eigenschaft hätten, sich z. B. mit grosser Geschwindigkeit nicht blos auf die Felder der Nachbarn, sondern durch den ganzen festen Erdkörper und bis zum Mittelpunkt der Erde zu verbreiten.

Wollte man es dann weiter unternehmen, die Luft in ihren Temperaturverhältnissen abzuändern, sie zu „heizen", so würde sich Etwas ganz Aehnliches geltend machen. Die Wärme würde sehr schnell verfliegen, und man müsste eine sehr grosse Anzahl von Pfunden Kohlenstoff verbrennen, bis man dadurch auch nur die Mehrproduktion eines einzigen Pfundes durch die Pflanzenwelt veranlasst haben würde. — Dergleichen Massregeln sind nur zweckmässig bei der Pflanzenkultur im kleinsten Massstab, wo man es unternimmt, die ganze über den Pflanzen befindliche Atmosphäre nach Aussen hin vollkommen abzusperren, — in unsern Treibhäusern. — Allein da handelt es sich nicht um Produktion grosser Mengen von Pflanzenmasse, sondern um das Fortbringen seltener Gewächse, vielleicht auch um die Erzeugung seltener Stoffe durch dieselben. Draussen auf den Feldern kann an dergleichen natürlich nicht gedacht werden.

So ist denn durch dies Verhalten ersichtlich, dass der Ackerbauer *nicht sämmtliche Produktionsbedingungen seiner Ernten in der Hand hat.* Diese letzteren sind nicht blos abhängig von der Bodenbeschaffenheit seiner Grundstücke, auf die er willkührlich einzuwirken vermag, sondern ebenso von einer Reihe anderer Factoren, die er nicht beherrscht, und die für ihn blosse *Zufälligkeiten* sind. Diese anderen Faktoren werden (wenigstens der Theil von ihnen, welcher variabler Natur ist), soweit sie sich auf einen und denselben Ort beziehen, als „Witterung", insoweit sie sich auf verschiedene Orte beziehen, als „Klima" bezeichnet, und dieselben sind grossentheils **) durch jene Eigenschaften der über einem Landstrich liegenden Luftschichten bedingt. — Die Abhängigkeit des landwirthschaftlichen Gewerbes von den Zufälligkeiten der Witterung gibt demselben einen eigenthümlichen wirthschaftlichen Charakter, der bis in die Kreditverhältnisse hinein klar zu erkennen ist.

Eine einzige landwirthschaftliche Manipulation ist allerdings bekannt, durch die in wirksamer Weise die Eigenschaften der Atmosphäre willkürlich abgeändert werden, und derselben haben wir schon gelegentlich Erwähnung gethan ***). Es ist Dies die Erzeugung von Rauch in Nächten, wo bei stiller Luft die Saaten durch Wärmestrahlung gegen den klaren Himmel zu erfrieren drohen; und diese vereinzelt

*) Diese physische Beschaffenheit der Luft, die die Aneignung ihrer nützlichen Eigenschaften unmöglich macht, stempelt sie zum wirthschaftlich „freien" Gute. S. die 39. Vorlesung.

**) Diese Ausdrucksweise ist freilich nicht ganz präcis, wird aber keine Missverständnisse veranlassen können.

***) Siehe die 23ste Vorlesung.

dastehende Massregel scheint nur in einer beschränkten Anzahl von Ländern praktisch rentabel zu sein. Hier ändert man also thatsächlich die Eigenschaften der atmosphärischen Luft in wirksamer Weise ab, und Dies ist in jenen seltenen Fällen nur möglich, weil man es mit einer sehr ruhigen Luft zu thun hat, und so die Zerstreuung des Rauchs nicht möglich ist, während bei nur schwach bewegter Luft die geschilderten Eigenthümlichkeiten zum Vorschein kommen müssten. Es ist ferner zu bedenken, dass es sich bei dieser Massregel um die Rettung einer ganzen Ernte, die sonst vollständig verloren sein würde, handelt, nicht um den Zuwachs eines Bruchtheils, und dass endlich die hierzu nothwendigen Opfer nur für eine sehr kurze Zeit gefordert werden.

Hier reiht sich dann noch etwa die sehr kleine Zahl von landwirthschaftlichen Massregeln an, die nicht als eine Abänderung der Eigenschaften der Atmosphäre aufgefasst werden können, wohl aber Veränderungen sogenannter atmosphärischer Vegetationsbedingungen in ihrem Gefolge haben. Hierzu gehört die Ziehung von Dämmen oder Führung von Hecken oder von anderen wandartigen Schutzmitteln gegen rauhe Winde, wie Dies in vielen nördlicheren Gegenden in Gebrauch ist. Man kann durch Anlegung derartiger Schutzwehren die Temperatur der Erdoberfläche bei kaltem Wind um mehrere Grade höher halten, als diese blosgelegt zeigen würde, und damit den Pflanzungen einen grossen Vorsprung und einen Schutz gegen das Erfrieren verleihen.

Dahin würde dann weiter zu rechnen sein die Veränderung der Neigung des Terrains durch Bodenarbeiten gegen den mittleren Stand der Sonne, eine Massregel, die bei intensiver Weinkultur wohl vorgenommen wird, und durch welche nicht die Eigenschaften des Bodens, wohl aber die Menge des demselben zufallenden Lichts und der Wärme abgeändert werden. In der erhöhten Temperatur auch der die Pflanze umgebenden Luftschicht ist aber die Zweckmässigkeit dieser Massregel bei der Weinkultur zu suchen.

Es ist schliesslich an dieser Stelle zu erwähnen: Die Veränderung des Klimas durch Abholzen oder Anpflanzen von Wäldern u. s. w., insofern dadurch die mittlere Bewölkung des Himmels und die Regenmenge *) abgeändert wird. Freilich ist es wegen der Schwierigkeit einer strengen Beweisführung bezweifelt worden, ob dieser Einfluss der Bewaldung auf das Klima thatsächlich besteht **), während jene andere

*) Nach Beobachtungen von Becquerel über die Regenmenge in der Nähe von Wäldern geht hervor, dass dieselbe durch die Anwesenheit dieser in einem Falle von 730 : 585 vermehrt worden ist; vergl. Landw. Jahresber. 1867—68, p. 21. Freilich ist damit noch nicht bewiesen, dass eine absolute Vermehrung der Niederschläge durch Bewaldung stattfindet, sondern nur, dass die Niederschläge mit Vorliebe in der Nähe von Waldungen erfolgen.

**) Vgl. Schleiden: Für Baum und Wald, 1870, p. 49. Die weiteren Zusammenstellungen dieser Schrift beweisen übrigens wohl mit vollkommener Sicherheit, dass auch das Klima direkt — freilich nicht immer in derselben Richtung — durch Wald resp. Entwaldung beeinflusst wird, dass wir es somit in der Veränderung des Waldbestandes mit einer wichtigen, ja sogar der einzigen hervorragend wichtigen Massregel zu thun haben, durch die es möglich ist, atmosphärische Vegetationsbedingungen in wirksamer Weise abzuändern. Vergl. über diesen Gegenstand auch noch eine Anmerkung Eingangs der siebenundzwanzigsten Vorlesung und Berger: Poggend. Annal. B. 124. p. 528 oder Jahresber. f. Agrik. Chemie. 1865. p. 66.

Funktion der Wälder, das gefallene Wasser langsam abfliessen zu lassen, und so namentlich die Thäler vor Ueberschwemmungen einerseits, vor sommerlicher Trockniss andererseits zu schützen, an unzähligen Beispielen leicht nachgewiesen werden kann. Diese letztere Beziehung der Bewaldung zum Wasserreichthum einer Gegend gehört aber offenbar nicht hierher, da es sich um Bodeneigenschaften handelt, und wird bald an geeignetem Orte Besprechung finden. Jene erstere ist aber einer der hier zu erörternden Fälle, in Folge deren es thatsächlich möglich ist, durch wirthschaftlich ausführbare Operationen auf atmosphärische Fruchtbarkeitsbedingungen einzuwirken. Beide Beziehungen sind jedoch treffliche Beispiele für jenes seltene und lehrreiche Verhalten, wo die auf das Interesse des einzelnen Wirthschaftenden gegründeten Massregeln dem Interesse der Gesammtheit widerstreiten, wo mithin die freie Wirthschaft eines Einzelnen bei voller Wahrung seines eigenen Vortheils der Gesammtheit der jetzt und in Zukunft Wirthschaftenden positiven Schaden bringt, *) und eine staatliche Bevormundung der Privatwirthschaft am Platze erscheint, wie sie ja eben für die Erhaltung der Wälder in vielen Staaten besteht.

Alle übrigen Manipulationen des Ackerbaues erstrecken sich (soweit die Betriebsmethoden der verschiedenen Länder der Erde bekannt sind) *auf Veränderungen der Eigenschaften des Bodens,* oder sie sind Arbeiten an der zu erntenden Pflanze selbst. Die letzteren sind noch niemals Gegenstand einer Darstellung vom wissenschaftlichen Standpunkte aus gewesen, einfach desshalb, weil von diesem Standpunkte aus zur Zeit Wenig über sie gesagt werden kann **). Die landwirthschaftlichen Massregeln, die sich auf den Boden beziehen, zerfallen wieder in zwei sehr ungleich grosse Unterabtheilungen, in die der *Stoffzufuhr* oder der *Düngung* und in die der *mechanischen Thätigkeit* oder der *Bodenbearbeitung.* Die erstere ist ein grosses Kapitel, das uns längere Zeit beschäftigen wird, und in Bezug auf das die Agrikulturchemie bis jetzt eigentlich allein Gelegenheit hat, für den Feldbau Etwas Praktisches zu leisten. Die andere Unterabtheilung ist zur Zeit kaum einer die Mühe lohnenden theoretischen Behandlung fähig, da entweder der Sinn der üblichen Bodenbearbeitungsmethoden durchaus selbstverständlich erscheint, oder die Theorie der Pflanzenernährung noch Nichts zu deren Erklärung beizutragen vermag ***). Die Behandlung dieses Gegenstandes mag uns daher erlassen bleiben.

*) Die Liebig'sche Lehre des Raubbaus oder besser dessen Ersatzlehre schliesst, consequent durchdacht, eine gleiche Behauptung des Widerstreits der Interessen des Einzelnen und der Gesammtheit, — der Interessen der jetzt lebenden und der künftigen Generationen für die Methoden der Düngung ein und müsste unfehlbar zu der Empfehlung einer Bevormundung der Düngerwirthschaft des Einzelnen durch den Staat führen.

**) Es ist indessen wohl keiner Frage unterworfen, dass die Fortsetzung der pflanzenphysiologischen Studien uns zu wichtigen praktischen Regeln in Bezug auf Beschneidung, Abblattung, Ringelung, Saatzeit, Erntezeit u. s. w. führen wird, und dass es vielleicht schon jetzt angezeigt wäre, sich dem Studium der theoretischen Grundlage aller dieser wichtigen Manipulationen zuzuwenden.

***) Es liegt Dies, wie wir bald sehen werden, an der grossen Complicirtheit der Bodenverhältnisse.

Ehe wir den Zweck der künstlichen Veränderung der Bodenbeschaffenheit durch Düngung beim Pflanzenbau zu studiren fähig sein werden, müssen wir selbstredend die sehr complicirten natürlichen Verhältnisse des Bodens, als Sitz einer grossen Reihe von Vegetationsbedingungen, einer aufmerksamen Betrachtung unterwerfen. Und mit diesen Betrachtungen, welche eine grössere Reihe von Vorträgen ausfüllen werden, betreten wir nun ernstlich das Gebiet *der Pflanzenernährung unter realen Verhältnissen,* das *Gebiet der Theorie des Feldbaues.*

Die Kenntniss der Eigenschaften des Bodens oder der Ackerkrume, wie man den zum Pflanzenbau dienenden Theil des Bodens gewöhnlich nennt, setzt die Kenntniss von dessen Entstehung voraus, und mit dem Studium dieser Entstehung gerathen wir ziemlich tief in die Geschichte der physischen Entwickelung unseres Erdballs, — in die Wissenschaft der Geologie hinein. Ich verspreche jedoch, mir keine unnöthigen Abschweifungen zu erlauben und nur streng zur Sache Gehöriges vorzubringen.

Der Boden, in dem die landwirthschaftliche Nutzpflanze wurzelt, gehört in den weitaus seltneren Fällen ganz und gar dem Mineralreich an; in der Regel ist ihm von der vegetativen Thätigkeit einer früheren Pflanzengeneration her ein Theil der damals gebildeten organischen Substanz einverleibt worden, und er ist somit theilweise organischer Natur. Wir werden in unserer Darstellung der Entstehung der Ackerkrume diese beiden handgreiflich verschiedenen Momente der *rein mineralischen Bildung* dieses Mediums und der *Veränderung desselben durch die Thätigkeit von Organismen* auseinanderhalten, wenn auch eine Bodenbildung, bei dem das letztere Moment ausgeschlossen war, zu den grössten Seltenheiten gehört.

Nach dem *Ursprung* der rein mineralischen Bestandtheile der Ackererde brauchen wir nicht zu fragen, denn wir wissen, dass die nemlichen Substanzen die Oberfläche unserer ganzen Planeten bilden. Wir haben uns nur in dieser Hinsicht die beiden Fragen vorzulegen: *Wie hat die Ackerkrume jene eigenthümliche mechanische Beschaffenheit angenommen, die wir an ihr bemerken?* und dann: *Wie hat die Ackerkrume die chemische Mischung der einzelnen mineralischen Bestandtheile erlangt, die sie ebenso vielfach von den anderen festen Theilen der Erdoberfläche auszeichnet?* Wir haben natürlich nur unter Bezugnahme auf die in der Geologie feststehende Annahme, welche aussagt, dass die oberflächliche Beschaffenheit unseres Planeten früher eine andere gewesen ist, eine Berechtigung, diese Fragen aufzuwerfen.

Wir müssen nun bei der Behandlung des Entstehungsprocesses der Ackerkrume von demselben Punkte ausgehen, von dem auch die Geologie ihren Ausgang zu nehmen pflegt, weil von demselben an die physische Geschichte unseres Erdballs erst eine klarere Fassung gewinnt. Dabei können wir die noch immer bestehenden, ja in neuerer Zeit wieder sich schärfenden Kontroversen der verschiedenen geologischen Hypothesen ziemlich auf sich beruhen lassen. Die *Plutonisten* legen ihrer geologischen Anschauung eine mehr astronomische, d. h. dem Verhalten anderer Weltkörper entnommene Hypothese zu Grunde und machen demgemäss die Annahme, dass sich der Erdball früher in feurig flüssigem Zustande befunden habe, und dass er in diesen wahrscheinlich durch Verdichtung der Materie gerathen sei; sie nehmen in Folge dessen an, dass die Erde auch jetzt noch im Innern ausserordentlich heiss,

resp. feurigflüssig *) sei, und dass dies der Grund sei, dass man in tiefen Bergwerken eine stufenweise Temperaturzunahme mit grosser Regelmässigkeit beobachte.

Dem gegenüber stellen sich die *neueren Neptunisten,* die hier allein erwähnt zu werden brauchen, auf den rein empirischen Standpunkt ihrer *geognostischen* Erfahrung; sie zeigen, dass eine Reihe von geologischen Vorgängen, die von den Plutonisten aus ihrer Hypothese des feurig flüssigen Zustandes erklärt und, wie man hinzusetzen muss, häufig in sehr oberflächlicher Weise erklärt wurden, noch heute an der Erdoberfläche bei Ausschluss jener (von den Plutonisten angenommenen) Bedingungen verlaufen, und erachten es für möglich, dass wenigstens alle diejenigen geologischen Erscheinungen, deren sichtbare Reste noch jetzt vor unsern Augen liegen, auf diese einfache Weise erklärt werden können. Die vulkanischen Erscheinungen, die Zunahme der Temperatur gegen das Erdinnere werden von ihnen durch lokale chemische Reaktionen oder auch wohl gar nicht erklärt.

Es muss dieser Richtung bei all' ihren absurden Consequenzen das bedeutende Verdienst zuerkannt werden, namentlich durch aufmerksame chemische Studien unsere Kenntniss von den möglichen *„geologisch chemischen Reaktionen“* (wenn dieser Ausdruck erlaubt ist) ausserordentlich erweitert zu haben und den Plutonismus, der es sich mit seinen Detailerklärungen sehr bequem zu machen begann und trotz der unverkennbaren Wahrscheinlichkeit seiner Grundanschauung sich als eine geologisch sehr unfruchtbare Richtung erwiesen hatte, in seine Grenzen zurückgewiesen und zu einem kritischeren Verfahren gezwungen zu haben.

Für die Betrachtungen, zu deren Anstellung wir die Hülfe der Geologie in Anspruch nehmen müssen, berührt uns die bestehende Kontroverse, die sich bekanntlich wesentlich auf die Entstehung der krystallinischen, der sogenannten plutonischen Gesteine **) bezieht, sehr wenig. Der Process, mit dem wir es hier hauptsächlich

*) Es ist hierbei zu erwähnen, dass nach einer neuen Berechnung des englischen Physikers **Thomson** die Annahme eines feurig flüssigen Erdinnern unverträglich ist mit dem Verhalten, das der Erdball gegen die Kräfte, die ihn zu verbiegen streben, zeigt. Die feste Erdrinde müsste eine andere Ebbe- und Fluthbewegung besitzen, wenn wenig Meilen unter der Erdoberfläche ein flüssiges Medium begönne, als in Wirklichkeit beobachtet werden konnte. Diese Folgerung ist nun aber keineswegs in Widerstreit mit der plutonischen Hypothese, indem nur die weitere und unter gewissen Umständen ganz plausible Annahme hinzugefügt zu werden braucht, dass das heisse Erdinnere in Folge des kolossalen auf ihm lastenden Druckes fest sei, aber nun natürlich bei Hinwegnahme dieses Druckes sofort wieder die flüssige Form annähme. Es berührt also diese wahrscheinlich nöthig werdende Modification der Vorstellungen vom Erdinnern keinen der Schlüsse der Plutonisten, die sie auf das flüssige Erdinnere ursprünglich basirt haben.

**) Nach der herrschenden plutonistischen Anschauung sind diese Gesteine, die auch als Urgebirgsarten bezeichnet werden, die Ueberreste des feurigflüssigen Zustandes der Erdoberfläche und durch Erstarrung der flüssigen Masse in Folge der Ausstrahlung eines Theils der Wärme entstanden. Gehen wir einen Augenblick auf die plutonische Hypothese ein, so können wir uns der Folgerung nicht entziehen, dass bei jenem sehr heissen Zustand des Erdballs das Wasser, das heute unser Weltmeer bildet, ganz oder grösstentheils als hocherhitzter Wasserdampf in der Atmosphäre schweben und einen kolossalen Druck (man kann ihn vielleicht nach der durchschnittlichen Tiefe des Weltmeeres annähernd berechnen) auf die flüssigen Gesteinsmassen ausüben musste. Aus diesem Drucke würde sich aber ergeben, dass hocherhitztes flüssiges Wasser, vielleicht glühendes Wasser sich mit jenen Gesteins-

zu thun haben, ist ein solcher, der nach der Auffassung beider Richtungen *im Wesentlichen identisch ist.* Es ist Dies *die Zerstörung der krystallinischen Massengesteine,* durch die Verwitterung (im weitesten Sinne des Worts) *und deren Uebergang in geschichtete Gesteine und andere Bildungen,* zu denen auch die Ackerkrume gehört. Der Neptunismus nimmt dann nur wieder eine regelmässig erfolgende Rückbildung der geschichteten Gesteine in Massengesteine an, eine Art Kreislauf der Gesteine,*) während nach den herrschenden plutonischen Anschauungen der Verwitterungsprocess in der jetzigen Erdepoche allein eine bedeutende Rolle spielt, und die Oberfläche unseres Planeten in einer ganz bestimmten Richtung continuirlich abgeändert wird.

Wir können also, wie gesagt, die zahlreichen noch bestehenden Kontroversen bei Seite liegen lassen und uns in unsern geologischen Betrachtungen darauf beschränken, jenen Umwandlungsprocess der krystallinischen Massengesteine in andere Bildungen, der im Wesentlichen ein Process der Verwitterung ist, und in Bezug auf den die Ansichten der verschiedenen Richtungen nicht auseinandergehen, in's Auge zu fassen. Das Problem wie jene krystallinischen Gesteine Entstehung genommen haben, — ob wir es in denselben (bei der Acceptirung der Annahme eines vormals sehr heissen Zustandes des Erdballs) noch in Ueberresten der einst flüssigen Gesteinsmassen oder schon mit sekundären Umwandlungsprodukten derselben zu thun haben, ob im ersteren Fall dabei hocherhitztes, aber flüssiges Wasser mitgewirkt hat, oder

massen mischen musste. Man kann nun der weiteren Folgerung gar nicht entgehen, dass dies Wasser bei der endlich erfolgenden Erstarrung der breiigen mineralischen Massen einen bedeutenden Einfluss ausgeübt haben muss. So würde man bei der consequenten Durchführung der plutonischen Hypothese der Erdbildung zu einem Erstarrungsprocess der Urgebirgsarten gelangen, der ebensoviel Aehnlichkeit mit der Vorstellung der Neptunisten von diesem Vorgang hat, als mit der gewöhnlichen der Plutonisten. Es erscheint sogar auf der Basis dieser Vorstellung eine Vereinigung der Anschauungen beider Richtungen über die Entstehung mancher Gesteinsarten möglich. Vielleicht ist die gleichzeitige Anwesenheit von einer sehr hohen Temperatur und von flüssigem Wasser bei Entstehung des Granits der Grund dafür, dass die Gestaltung dieses Gesteins in mancher Hinsicht einer wässrigen Ausscheidung weit ähnlicher sieht, als einer feurigflüssigen. Es wären gewiss viele der Widersprüche zu heben, die in der Geologie über die feurig-flüssige oder die wässrige Ausscheidung eines Gesteins bestehen, wenn man sich immer wieder vergegenwärtigte, dass die gleichzeitige Anwesenheit beider verflüssigenden Principien bei dem früheren Zustand der Erde möglich, ja sogar wahrscheinlich sei, während unsere Beobachtungen von heut zu Tage in der Natur wie im Laboratorium unter so niedrigen Pressionen angestellt sind, dass beide Principien sich gegenseitig auszuschliessen scheinen, sich überall als entgegengesetzt gegenüber stehen und sogar die blosse Vorstellung von glühendem flüssigen Wasser den Gedanken der Unmöglichkeit erweckt.

*) Wenn man die Annahme einer alternirenden Bildung und Rückbildung der beiden Gruppen von Gesteinsarten consequent verfolgt und dazu nach streng neptunischer Weise die Hebungen, Wärmeentwickelungen im Erdinnern u. s. w. durch chemische Reaktionen erklärt und alle diese Processe in unerschöpflicher Folge von Neuem vor sich gehen lässt, so geräth man gar leicht in ernstliche Collisionen mit dem Gesetz der Erhaltung der Kraft, denen man nur durch die ziemlich künstliche weitere Annahme, dass die durch die Pflanzenwelt aufgespeicherten Kräfte in letzter Linie (durch Reduktionen u. s. w.) den „Antiverwitterungsprocess" veranlassen, entrinnen kann.

ob wir uns jene Annahme zu machen überhaupt nicht für berechtigt halten, soll uns hier als ausserhalb unserer Aufgabe liegend ganz und gar nicht beschäftigen.

Wenn wir uns nun zur bessern Uebersicht der chemischen Zusammensetzung und der näheren geognostischen Gruppirung der Massengesteine einer gewissen Eintheilung bedienen, so verfolgen wir damit nur jenen einen Zweck und sagen ganz und gar Nichts aus über eine etwaige gemeinschaftliche Entstehungsweise solcher Gesteine. Wir werden uns sogar nicht scheuen, wo es passend erscheint, Gebirgsarten unter diesen Massengesteinen mit aufzuführen, bei denen es nach neueren Erfahrungen sehr wahrscheinlich geworden ist, dass sekundäre Processe bereits ihre Einflüsse auf dieselben geltend gemacht haben; wir werden Dies thun, weil es unmöglich erscheint, nach jenem Grundsatze eine wirklich scharfe Grenze zu ziehen, und weil für unsern Zweck das Charakteristikon der noch wenig veränderten Zusammensetzung als massgebend erscheint. — Genug wir gehen zu chemischen und mineralogischen Betrachtungen dieser Massengesteine über.

Kieselsäure ist der vorwiegende Bestandtheil aller krystallinischen Massengesteine, und es gibt deren keines, das nicht wenigstens nahezu zur Hälfte seiner Masse aus dieser Säure besteht. Der Gehalt an derselben schwankt in den verschiedenen Gesteinen etwa zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ der ganzen Masse. Ausserdem sind Thonerde 10—20 %, Eisenoxyd oder -oxydul, Manganoxydul, Kalk, Magnesia, Kali und Natron in geringeren und wechselnden Mengen regelmässige Bestandtheile aller dieser Gesteine.

Je nach ihrem relativen Gehalt an diesen einzelnen chemischen Bestandtheilen zerfallen die verschiedenen Massengesteine in zwei natürliche Unterabtheilungen, die zwar nicht ganz scharf gegeneinander abgegrenzt sind, doch aber im Allgemeinen sich wesentlich durch gleichartige Merkmale von einander unterscheiden. Die eine Gruppe ist *reich an Kieselsäure,* und die Gesteinsarten, die derselben angehören, können als *saure Silicate* bezeichnet werden. Die andere Gruppe ist verhältnissmässig *arm an Kieselsäure,* und die hierhin gehörigen Gesteinsarten kann man als *basische Silicate* bezeichnen. Die erstere Gruppe enthält *geringe Mengen von Eisen, Kalk, Thonerde,* letztere *grössere Mengen* dieser Stoffe. Jene ist *reich an Alkalien,* diese *alkaliarm.* Beide Gruppen verhalten sich demgemäss bei dem Verwitterungsprocess, der, wie gesagt, als ein wesentliches Moment bei der Bildung der Ackerkrume angesehen werden muss, ausserordentlich verschieden.

Die erste Gruppe von saurem Charakter, die auch wohl als die der *Kieselthon-alkalischen Gesteine**) bezeichnet worden ist, umfasst folgende bekanntere Gebirgsarten unter sich:

Granit, Gneiss, Glimmerschiefer, Porphyr, und *Trachyt.*

Die chemische Zusammensetzung dieser Gruppe schwankt zwischen den angegebenen Zahlen:

Kieselsäure	54—79 %
Thonerde	10—23 %
Eisenoxyd (-oxydul)	0,8—7 %
Manganoxydul	0—0,5 %

*) Vergl. Girard: Bodenkunde 1868, p. 72.

Kalk	0,1—4 %
Magnesia	0,1—1,5 %
Kali	1,3—8 %
Natron	0,4—9 %
Wasser	0,4—1,5 %

Die zweite Gruppe von mehr basischem Charakter, die auch wohl als die der *Kiesel-eisen-kalkigen Gesteine**) bezeichnet worden ist, umfasst folgende bekanntere Gebirgsarten in sich:

Syenit, *Grünstein*,**) *Melaphyr*, *Dolerit* und *Basalt*:***).

Die chemische Zusammensetzung dieser Gruppe schwankt zwischen folgenden Zahlen:

Kieselsäure	42—63 %
Thonerde	10—21 %
Eisenoxyd (-oxydul)	4—17 %
Manganoxydul	0—0,5 %
Kalk	1,8—15 %
Magnesia	1,1—11 %
Kali	0,1—8 %
Natron	0,2—8 %
Wasser	0,2—3,3 %

Die angegebenen Zahlen werden zur Genüge das vorher über die Zusammensetzung Gesagte bestätigen. Wir können uns indessen mit diesen allgemeinen Angaben über die Bestandtheile der verschiedenen Gesteine auch für unsern Zweck nicht begnügen, da jene Gruppe trotz jener Gemeinsamkeit der Charaktere der in ihnen enthaltenen Gesteine, doch noch ziemlich Verschiedenes umschliesst. Wir theilen daher aus jeder Gruppe eine kleine Anzahl von Einzelanalysen mit, die zugleich eine brauchbare Vorstellung geben von den durchschnittlich zu erwartenden Abweichungen.

---

*) Vergl. ebenda.

**) Unter diese Gesteinsart fallen Hyperit und Diorit.

***) Diese Eintheilung, die weiter keine Theorie in sich schliesst, ist wesentlich identisch mit derjenigen, die Bunsen seiner Zeit auf die damals zulässig erscheinende Annahme, dass alle „plutonischen" und „vulkanischen" Gesteine als Gemische zweier der chemischen Zusammensetzung nach äussersten Endglieder angesehen werden könnten, resp. angesehen werden sollten. Diese Endglieder wurden dann als normal-trachytische und normal-pyroxenische Gesteine bezeichnet. Obgleich nun die zu Grunde liegende Hypothese der Bildung aller jener Gebirgsarten aus zwei feurig-flüssigen Mutterlaugen des Erdinnern, namentlich wegen sehr ungenügender Uebereinstimmung der Berechnungen, fallen gelassen werden musste, so würde doch die Annahme jener beiden Endglieder mit der hier gemachten Unterscheidung ungefähr praktisch coïncidiren. Das normal-trachytische Gestein würde zugleich das äusserste Glied unserer ersten Gruppe, das normal-pyroxenische das unserer zweiten Gruppe sein.

Kiesel-thon-alkalische Gesteine [1]).

	Granit[2]) I.	Granit[2]) II.	Gneiss[3]) I.	Gneiss[3]) II.	Glimmersch.[4])	Porphyr[5])	Trachyt[6])
Kieselsäure	72,6%	68,6%	67,3%	74,5%	79,5%	75,2%	64,2%
Thonerde	15,6%	14,4%	16,1%	15,2%	13,4%	10,9%	17,0%
Eisenoxydul	1,5%	5,0%	4,5%	1,9%	F̈e 3,9%	3,2%	F̈e 6,7%
Manganoxydul	0,3%	—	—	—	—	—	—
Kalk	1,3%	3,9%	3,9%	1,1%	0,7%	0,5%	0,5%
Magnesia	0,3%	0,4%	1,5%	0,6%	1,0%	0,4%	0,2%
Kali	5,0%	2,8%	5,1%	4,6%	4,7%	3,1%	4,4%
Natron	2,3%	3,4%	3,0%	2,9%	0,4%	4,0%	5,1%
Wasser	0,8%	1,1%	0,4%	—	0,8%	0,7%	1,0%

Kiesel-eisen-kalkige Gesteine.

	Syenit[7])	Diorit[8])	Hyperit[9])	Melaphyr[10])	Dolerit[11]) I.	Dolerit[11]) II.	Basalt[12])
Kieselsäure	58,1%	54,7%	50,0%	59,2%	51,8%	48,2%	44,9%
Thonerde	17,7%	15,7%	16,0%	15,1%	14,2%	10,2%	17,6%
Eisenoxydul	8,3%	8,1%	7,0%	F̈e 14,7%	16,0%	13,6%	15,1%
Kalk	5,8%	7,8%	14,5%	4.6%	7,9%	14,6%	12,8%
Magnesia	2,1%	5,9%	10,1%	1,5%	4,7%	7,4%	9,7%
Kali	3,2%	3,8%	0,6%	1,7%	1,5%	3,7%	0,9%
Natron	3,0%	2,9%	1,7%	3,0%	3,7%	1,0%	0,2%
Wasser	1,3%	1,9%	1,5%	1,6%	0,8%	1,9%	0,6%

Diese Analysen mögen ungefähr eine Vorstellung geben von den Abweichungen, welche die einzelnen den beiden Gruppen untergeordneten Gesteine von den Durchschnittsnormen zeigen.

Allein um irgend eine Vorstellung davon zu gewinnen, welche Veränderungen die verschiedenen Gebirgsarten bei der Verwitterung, die wir als ein Moment der Bodenbildung bezeichnet haben, erleiden, müssen wir uns einiger Massen mit der näheren Gruppirung der einzelnen aufgefundenen chemischen Bestandtheile jener Gesteine bekannt machen, d. h. neben dem chemischen Charakter der Gebirgsarten auch deren mineralogischen Charakter in's Auge zu fassen suchen.

Die erste Gruppe der kiesel-thon-alkalischen Gesteine hat folgende engere mineralogische Bestandtheile: den Quarz, d. i. die krystallinisch ausgeschiedene

1) Diese Analysen sind dem erwähnten Girard'schen Werke entnommen.
2) Fundort des Granit I. zu Heidelberg, des Granit II. in Irland.
3) Fundort des Gneiss I. Brasilien, des Gneiss II. Sachsen.
4) Schweiz.
5) Norwegen.
6) Siebengebirge.
7) Tyrol.
8) Harz.
9) Sachsen.
10) Thüringer Wald.
11) I. Hessen, II. Baden.
12) Schlesien.

unverbundene Kieselsäure, und von Silicaten, soweit sie für die einzelnen Gesteine charakteristisch sind: den Feldspath (Orthoklas, Sanidin), Oligoklas, und den Glimmer. Wir werden sogleich etwas näher aut die Zusammensetzung und die Eigenschaften dieser Minerale eingehen.

Die andere Gruppe der kiesel-eisen-kalkigen Gesteine hat niemals freie ausgeschiedene Kieselsäure als charakteristischen Gemengtheil, sondern nur je nach der Gesteinsart die Silicate: Feldspath (Oligoklas, Labrador), Augit (Hypersthen) und Hornblende.

Je nach dem nun diese einzelnen Mineralien zusammentreten, bilden sich die verschiedenen Gesteinsspecies. — Allgemeines über die Regeln, nach denen dieser Zusammentritt erfolgt, lässt sich sagen, dass die Gesteine der ersten Gruppe sammt und sonders*) *Alkali-Feldspath*, d. h. Orthoklas, Sanidin (d. i. ein glasiger Feldspath von der gleichen Zusammensetzung des Orthoklas) oder Oligoklas, dass die Gesteine der zweiten Gruppe sammt und sonders *Hornblende* oder *Augit* in sich enthalten. Dies ist ein ganz ausreichendes Merkzeichen, das auch schon Eigenschaften und Zusammensetzung der Gesteine beider Gruppen ziemlich erklärt.

Granit und *Gneiss* bestehen ihren näheren mineralogischen Gemengtheilen nach aus Quarz, Glimmer, Kali-Feldspath (Orthoklas) in verschiedenen Verhältnissen; und eben diese letzteren sind es neben einigen Strukturverhältnissen, auf die sich die Unterscheidung der zwei Gesteine gründet. Der Granit ist etwas feldspathreicher (60—80 %) als der Gneiss (50—70 %), bei welchem letzteren die beiden anderen Gemengtheile mehr hervortreten. Beim *Glimmerschiefer* endlich ist der Feldspath fast ganz oder gar verschwunden und derselbe besitzt als wesentliche Gemengtheile nur noch Quarz und Glimmer.

Der *Porphyr* ist im Wesentlichen ein inniges Gemenge von Orthoklas und Quarz; — Glimmer ist nur noch gelegentlicher Gemengtheil.

Die Grundmasse des *Trachyts* ist Sanidin mit oder ohne Oligoklas, daneben gelegentlich auch andere mineralogische Bestandtheile.

Man kann also in Bezug auf die nähere mineralogische Zusammensetzung der Gesteine der ersten Gruppe sagen, dass sie neben Alkali-Feldspath, welcher Bestandtheil allerdings bei dem Glimmerschiefer beinahe ganz verschwindet, je nach der Gesteinsart Quarz und Glimmer in sehr verschiedenen Mengen enthalten.

Nun zu der spezielleren Zusammensetzung der Gesteine jener zweiten Gruppe. — Der *Syenit* besteht im Wesentlichen aus Alkali-Feldspath (Orthoklas oder Oligoklas) und Hornblende, der *Grünstein* aus Kalkfeldspath (d. i. Labrador) oder Oligoklas und aus Hornblende oder Augit. Die drei anderen Gesteine derselben Gruppe enthalten als charakteristischen Gemengtheil stets Augit. Der *Melaphyr* enthält Oligoklas und Augit. *Dolerit* und *Basalt* bestehen wesentlich aus Labrador und Augit; ersterer ungefähr zu gleichen Theilen und in gröberen Stücken, letzterer enthält Labrador vorherrschend und in sehr feinen Krystallen, zugleich auch regelmässig geringe Mengen magnetischen Eisenoxyds.

*) Der Glimmerschiefer, der häufig beinahe frei von Feldspath erscheint, macht hiervon die einzige Ausnahme.

Diese Gesteine enthalten also neben Augit oder Hornblende, die nahe verwandt mit einander sind, einen feldspathartigen Gemengtheil, Orthoklas oder Oligoklas, die jene in Zusammensetzung und Eigenschaften der ersten Gruppe nähern, oder den Labrador, der sie noch mehr zu alkaliarmen aber kalkreicheren Gesteinsarten macht.

Wir werden den Ueberblick über die Natur aller dieser verschiedenen Gesteine weiter vervollkommnen, wenn wir die chemische Zusammensetzung und das Verhalten dieser wenigen charakteristischen Gemengtheile, auf die sich die mineralogische Constitution aller jener wichtigeren Gebirgsarten zurückführen lässt, uns noch einzuprägen suchen. Vor Allem haben wir die feldspathartigen Mineralien auf der einen, die Hornblende und die Augite auf der andern Seite bezüglich ihrer Zusammensetzung zu prüfen. Wenn man eine grössere Anzahl der *Alkali-Feldspathe* der verschiedensten Fundorte hinsichtlich ihrer Zusammensetzung vergleicht, so kommt man ungefähr zu folgenden Variationen:

	Kalifeldspath (Orthoklas, Sanidin).	Natronfeldspath (Oligoklas).
Kieselsäure	65,6—67,0 %	62,0—63,9 %
Thonerde	16,5—20,9 %	21,2—23,9 %
Eisenoxyd	0,9— 1,6 %	0— 2,5 %
Kalk	0,1— 1,5 %	1,1— 3,5 %
Magnesia	0,2— 0,9 %	0,6— 0,8 %
Kali	7,9—12,8 %	1,2— 4,3 %
Natron	2,0— 4,6 %	5,9— 9,5 %

Die Zusammensetzung beider Alkali-Feldspathe ist, wie die Vergleichung lehrt, durchweg ganz ähnlich; nur sind die beiden Alkalien ungleichartig vertheilt, wesshalb auch die beiden Mineralien als Kalifeldspath und Natronfeldspath von einander unterschieden werden.

Die andern Mineralien, die neben diesen beiden in der ersten Gruppe der Gebirgsarten vorkommen, sind *Quarz* und *Glimmer*, der erstere mehr oder minder reine Kieselsäure, der andere ein Silicat, das sich durch seinen grossen Kaligehalt (5.6—9,5 %) auszeichnet, in manchen Varietäten auch grosse Mengen von Magnesia enthält, aber so ausserordentlich schwer durch Verwitterung zersetzbar ist, dass seine nähere Zusammensetzung für uns von keinem Interesse ist. Der Glimmer wird bei der Umformung der Gebirge und bei der Bodenbildung ebenso wie der krystallinische Quarz eine Rolle spielen als mechanischer Gemengtheil, weniger als Sitz chemischer Umsetzungen, ganz im Gegensatz zu den feldspathartigen Mineralien, die ziemlich leicht verwittern und desshalb auch als chemisches Element der Bodenbildung in ihrer Zusammensetzung eine genaue Berücksichtigung verdienen.

Demgemäss erhalten dann die verschiedenen Gesteine der ersten Gruppe eine ausserordentliche Aehnlichkeit unter einander in Bezug auf ihre Zersetzungserscheinungen bei der Verwitterung. Ueberall ist das feldspathartige Gesteinselement Sitz dieser chemischen Umwandlungen und die Gesteinsarten verhalten sich nur in so fern verschieden, als der feldspathige Gemengtheil bald mehr bald weniger in den Vordergrund tritt, als derselbe vorwiegend Kali- oder Natronfeldspath ist. Auf diese Weise wird die Zusammengehörigkeit jener Gesteine der ersten Gruppe noch mehr in die Augen springend als durch Vorführung der Pauschanalyse, wo verwitterbare und unverwitterbare Gesteinselemente mit voller Gleichberechtigung auftreten.

Nicht ganz so einfach gestaltet sich das Resultat der analogen Betrachtung für die andere Gruppe. Wir haben dort neben feldspathartigen Mineralien *Augit* oder *Hornblende* als durchgehend charakteristischen Gemengtheil kennen gelernt. Die Zusammensetzung dieser Mineralien wird uns daher vor Allem interessiren. Dieselbe bewegt sich nach einer Reihe von vorliegenden Analysen ungefähr in den angegebenen Grenzen.

	Hornblende.	Augit (Hypersthen, Pyroxen).
Kieselsäure	40,3—43,8 %	47,4—51,8 %
Thonerde	9,3—16,4 %	0,4— 8,1 %
Eisenoxyd	—	0— 5,8 %
Eisenoxydul	15,3—21,8 %	7,8—21,3 %
Kalk	12,1—13,8 %	3,1—20,0 %
Magnesia	11,7—13,4 %	12,8—21,3 %
Kali	—	—
Natron	—	—

Es zeigt sich auf den ersten Blick, dass die Zusammensetzung dieser beiden Mineralien eine grosse Aehnlichkeit unter sich selber bietet, und dass sie von jenen feldspathartigen ausserordentlich verschieden ist. Die Alkalien sehen wir hier bis zum völligen Verschwinden zurücktreten, dagegen finden wir grosse Mengen alkalischer Erden vor, namentlich auch von Magnesia und Eisenoxydul. Der gemeinschaftliche Gehalt der zweiten Gesteinsgruppe an einem dieser beiden Mineralien stempelt sie in der That zu den kiesel-eisen-kalkigen Gesteinen.

Als zweiten wesentlichen Gemengtheil dieser Gesteine treffen wir aber theilweise einen Alkali-Feldspath, nemlich im Syenit und Melaphyr eventuell auch im Grünstein; und diese Gesteine müssen sich auch desshalb ihrem Verhalten bei Verwitterung oder Bodenbildung nach der ersten Gruppe nähern; oder sie enthalten neben Augit oder Hornblende noch *Kalkfeldspath* (Labrador) wie Dolerit oder noch vorwiegender der Basalt, eventuell auch der Diabas (eine Unterart des Grünsteins); und da der Labrador nicht zu den Mineralien gerechnet werden kann, die der Verwitterung absoluten Widerstand entgegensetzen, so müssen wir auch seine Zusammensetzung kurz in's Auge fassen.

	Labrador.
Kieselsäure	52,2—53,7 %
Thonerde	26,7—29,2 %
Eisenoxyd	1,8— 3,5 %
Kalk	8,6—13,1 %
Magnesia	0,4— 0,9 %
Kali	0,6— 1,5 %
Natron	1,4— 5,0 %

Wir haben es also in dem Labrador mit einem Mineral zu thun, das sich den Alkali-Feldspathen einiger Massen in der Zusammensetzung nähert, nur ärmer an Kieselsäure, etwas reicher an Thonerde ist und, was für uns von besonderem Interesse ist, an der Stelle von grossen Mengen von Alkalien Kalk besitzt. Der Labrador wird von den Mineralogen in Folge dessen den Feldspathen zugezählt, und wir haben von dieser Bezeichnung bereits Gebrauch gemacht.

Der Charakter der Gesteine, die an der Stelle eines andern feldspathigen Gemengtheils diesen kalkreichen Feldspath, den Labrador enthalten, ergibt sich nun von selbst. Dieselben werden zwar in diesem letzteren Bestandtheil eine Quelle für die geringen Mengen von Alkalien, welche auch in diesen Gesteinen regelmässig angetroffen werden, besitzen; allein sie werden namentlich an Kali durchschnittlich viel ärmer bleiben müssen als der Alkalifeldspath-haltige Syenit, viel reicher an Kalk sein als dieser und der Melaphyr u. s. f.

Ausnahmen bei einzelnen Gesteinsvarietäten, die dennoch aus geognostischen Gründen den von uns acceptirten Gesteinsarten zugerechnet werden, kommen natürlich bis zu gewissen Grenzen vor, da mannigfache Vertretungen der einzelnen Gemengtheile innerhalb jener Arten nicht ausgeschlossen sind. So gibt es sehr kaliarme Syenite, wenn der vorhandene Feldspath sehr kaliarmer Oligaklas ist, ziemlich kalireiche Dolerite, wenn andere Gesteinselemente *), die wohl in vielen Fällen noch gar nicht mineralogisch bestimmt werden konnten, sich einschleichen. Man darf überhaupt nicht glauben, durch diese Betrachtungen strenggültige Regeln für die chemische Zusammensetzung der Gesteine zu erhalten. Die Gesteinsart, auf welchen Begriff wir uns allein beziehen konnten, ist durchaus nicht, namentlich nicht vom chemischen Standpunkt aus, eine so feststehende Grösse, dass man ganz untrügliche Regeln für deren Verhalten bei der Verwitterung, der Bodenbildung und endlich bei Ernährung der Pflanze geben könnte.

Wir haben noch von der Zugänglichkeit der mineralogischen Gemengtheile der Gesteine der zweiten Gruppe für die Verwitterung einige Worte zu sagen, ohne dass wir freilich hier schon auf den Chemismus jenes Processes einzugehen beabsichtigen. Schon aus dem Umstande, dass wir die Zusammensetzung aller dieser Gemengtheile einer näheren Betrachtung unterworfen haben, konnte man schliessen, dass sich dieselben auch an dem Chemismus der Verwitterung betheiligen, nicht theilweise wie Quarz und Glimmer blos durch ihre mechanischen Eigenthümlichkeiten dabei in Betracht kommen, denn wir haben ja dem Grundsatz gehuldigt, hier bei Erörterung dieser etwas verwickelten Verhältnisse unser Gedächtniss nicht mit für unsern Zweck ganz unnöthigem Ballast zu beschweren. Allein die Verwitterung der für die zweite Gesteinsgruppe charakteristischen Gemengtheile geht durchschnittlich viel langsamer von Statten, als die der kieselsäurereicheren Alkalifeldspathe. Auch tauchen hier wieder neue Unterschiede auf für die etwas verschieden zusammengesetzten Untervarietäten einer und derselben Mineralspecies, wie z. B. der Augite.

Wenn wir die Zersetzbarkeit aller der verschiedenen Gesteinselemente, mit denen wir zu schaffen haben, nebeneinander stellen, so gelangen wir ungefähr zu folgendem Ueberblick. Der Oligoklas ist so ziemlich das leichtest zersetzbare Glied der ganzen Feldspathgruppe, doch ist der Kalifeldspath nicht viel schwerer verwitterbar; der Labrador dagegen zeigt sich meistens sehr widerstandsfähig. Beim Augit sind mindestens zwei Varietäten hinsichtlich ihres Verhaltens den atmosphärischen Einflüssen gegenüber wohl zu unterscheiden. Der gemeine Augit, der im Basalt vorkommt, wenig Kieselsäure aber viel alkalische Erde und Thonerde enthält, ist leicht zersetzbar, während der blättrige Augit oder Hypersthen, für den das Umgekehrte

*) Hier ist namentlich der kalireiche Leucit als gelegentliches Gesteinselement zu erwähnen.

Verhältniss stattfindet, sich weit widerstandsfähiger zeigt; aber auch dieser erleidet unter den atmosphärischen Einflüssen eine raschere Umwandlung, als der Labrador, wie bei der Verwitterung der Gesteine, die beide als Gemengtheile enthalten, beobachtet werden kann. Die Hornblende scheint schwerer*) angreifbar zu sein, als der Augit, mindestens als der gemeine Augit.

Hierdurch sind nun die Hauptfelsarten der sog. Urgebirge für unsern Zweck hinlänglich charakterisirt. — Wir haben indessen noch einige Zusätze zu machen, auf die wir später wieder Bezug nehmen werden. Es ist bei der bisherigen Betrachtung, bei der wir überhaupt auf Pflanzennährmittel noch keine spezielle Rücksicht genommen haben, der Phosphorsäure und Schwefelsäure noch gar nicht Erwähnung gethan worden, und beide werden doch regelmässig in einer jeden fruchtbaren Ackererde angetroffen; und auch in diese hinein sind sie durchgehends nicht durch menschliche Kunstgriffe hineingebracht worden, denn das freudige Gedeihen der wildwachsenden Pflanzen, die doch auch nothwendig phosphor- und schwefel-haltig sind, beweist zur Genüge, dass auch in den von Menschenhand unberührten Trümmern der Gesteinswelt, die wir mit dem Namen Ackerkrume belegen, stets schwefel- und phosphorhaltiges Material angetroffen wird; und wenn auch jene Trümmer nicht immer direkt durch Verwitterung jener Massengesteine ihre Entstehung nehmen, so ist Dies doch, wie wir bald sehen werden, mittelbar der Fall. Wir haben also ein Recht, auch in jenen Gesteinsarten nach den genannten Stoffen auszuschauen. Für den Phosphor lässt sich nun angeben, dass er überall in jenen Massengesteinen in geringen Mengen vorhanden und nur von den Geognosten fast regelmässig übersehen worden ist. Alle Gesteine, die man in dieser Richtung mit scharfen Reagenzien untersucht hat, zeigten eine wenn auch geringe, doch dem Gehalte des Bodens an diesem Stoffe nahezu entsprechende Menge von Phosphorsäure.

In folgenden Gesteinen wurde, nachdem einmal die Agrikulturchemiker ihre Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gelenkt hatten, gefunden:**)

Im	Granulit (Penig)	0,63 %	Phosphorsäure
„	Granit (Hollsdorff)	0,58 %	„
„	Granitsand (Burgstädt)	0,68 %	„
„	do. tiefere Schichte	0,42 %	„
„	Gneiss (Gerbisdorff)	0,78 %	„
„	Gneisssand (Penig)	Spuren	„
„	Feldspath (Rochsburg)	1,70 %	„
„	Basalt (Landberg)	1,11 %	„
„	Melaphyr (Plauensch. Grund)	0,30 %	„
„	Syenit (v. ebenda)	0,18 %	„
„	Gneiss (Tharand)	0,25 %	„
„	Felsit (v. ebenda)	0,21 %	„
„	Thonsteinporphyr (v. ebenda)	0,43 %	„

*) Im Diorit hält sich meistens die Hornblende länger als der Labrador. Vergleiche Girard: Bodenkunde 1868, p. 270.

**) Alle diese Angaben sind von A. Stöckhard gemacht worden. Vergl. Landw. Versuchsst. 1859, p. 178 u. 1861, p. 105.

Der Gehalt aller dieser Gesteine an Phosphorsäure *) ist sehr beträchtlich, wenn man bedenkt, dass in fruchtbaren Ackererden oft von derselben kaum mehr als 0.1% angetroffen wird, und erklärt zur vollen Genüge den Ursprung dieses werthvollen Pflanzennährstoffs. Die Phosphorsäure scheint in diesen krystallinischen Gesteinen meistens an Kalk gebunden und zwar als Apatit aufzutreten, während in den geschichteten Gesteinen ihre mineralogische Form vielfach eine andere ist.

Für den Schwefel scheint Etwas ganz Aehnliches zu gelten; auch er wurde bei den meisten Mineralanalysen der Massengesteine völlig übersehen, und nun, da man nach ihm sucht, werden überall schwefelsaure Salze aufgefunden. Struve hat gezeigt, dass man aus einer ganzen Reihe von böhmischen (dahin gehörigen) Gesteinen**) durch kohlensäurehaltiges Wasser unter hohem Druck schwefelsaures Kali oder auch schwefelsaures Natron ausziehen kann. Es ist ausserdem auf die in den krystallinischen Gesteinen vorkommenden schwefelhaltigen Erzgänge hinzuweisen, namentlich auf den Schwefelkies (Schwefeleisen). An der Luft ist für diese Stoffe Gelegenheit gegeben zur Oxydation und Bildung von schwefelsauren Salzen, die sich dann leicht durch Quellen, Grundwasser auf weitere Strecken verbreiten können.

Alle übrigen feuerfesten Pflanzennährstoffe sind, wie die Analysen der krystallinischen Gesteine lehren, in denselben in erheblichen Mengen vorhanden und, wie hinzugesetzt werden kann, fast durchweg in grösseren Mengen, als deren Anwesenheit in der Ackererde, sind sie nur in der passenden chemischen Form vorhanden, erfahrungsgemäss nothwendig erscheint. Dies gilt am Meisten für das Eisen, das gilt auch durchweg für das Kali und auch in der Regel für Kalk und Magnesia. Die letzteren beiden sinken in manchen Gesteinsarten der ersteren Gruppe, wie namentlich im Trachyt, Porphyr, Glimmerschiefer oft bis zu sehr geringen Mengen, kleinen Bruchtheilen von Procenten herab, Mengen, die wenigstens in Bezug auf den Kalk, der im Boden nicht allein die Rolle eines direkten Nährstoffs versieht sondern noch manche anderen Funktionen, von denen wir später zu reden haben werden***), daselbst vollzieht, als ungenügend für manche Kulturen angesehen werden müssen. Wenn dagegen an Kali auf Böden, welche die Elemente jener krystallinischen Gesteine noch wesentlich intakt enthalten, durch eigenthümliche Symptome ein Mangel beim Pflanzenwachsthum sich manifestirt, so ist Dies fast ausnahmslos nur in der ungeeigneten chemischen Form (Unlöslichkeit) des genannten Bestandtheils zu suchen, da ein jeder der besprochenen Felsarten bedeutende Mengen von Kali enthält†), die das Vielfache sind von Dem, was viele äusserst fruchtbare Böden einzuschliessen pflegen.

*) Vergl. auch Gasparin: Annal. d. Landw. Monatsbl. 1870, p. 80.

**) Untersucht wurden drei Phonolithe, mehrere Basalte, Porphyr von Teplitz, Gneiss von Billin und Granit von Karlsbad. Ebenso hat auch A. Mitscherlich Schwefelsäure im Granit gefunden.

***) Vergl. namentlich die achtunddreissigste Vorlesung.

†) Dies gilt selbst für die kaliärmeren Basalte und Grünsteine; vergl. die mitgetheilten Analysen, p. 13.

Fünfundzwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Die Verwitterung. — Die Verschwemmung.

Wir haben in der letzten Vorlesung einen genügenden Ueberblick gewonnen über die Zusammensetzung der krystallinischen Massengesteine. Es ist dieser Ueberblick von Wichtigkeit, weil diese Gesteine unmittelbar oder mittelbar das Material abgeben zu dem feuerfesten Theil einer jeden Ackererde.

Die festen Gesteine selbst sind nun aber in der Regel, und wohl nur mit Ausnahme einiger schon der Natur ihrer Entstehung nach fein gepulverter vulkanischer Gesteine, in ihrer unveränderten Form unbewohnbar für alle höheren Pflanzen, schon blos ihres mechanischen Zusammenhalts wegen, der jeder Wurzel den Eintritt wehrt. Nur die genügsame Flechte, deren Haftorgane durch saure Ausscheidungen für eine ärmliche Nahrung zu sorgen scheinen, bewohnt den unwirthlichen nackten Fels, dessen monotone Färbung durch bunte Zonen jeglicher Farbe belebend.

Zur Bildung eines auch nur erträglichen Bodens aus diesem widerstandsfähigen Materiale ist daher mindestens das Hinzutreten eines neuen Moments erforderlich, das der *Verwitterung*, welche die oberflächliche Felsschicht erst in grobe und dann immer in feinere und feinere Stücke schlägt. Das gleiche Moment muss auch der Bildung der Flötzgebirgsarten aus jenen Massengesteinen, von deren Dasein wir bis jetzt allein unterrichtet sind, vorhergehen. Nur tritt in diesem Fall noch ein zweites Moment hinzu; und desshalb wollen wir jenen ersten Fall der Bildung von sogenannten „ursprünglichen“ Böden, d. h. noch nicht von der Stätte ihrer Entstehung hinweggeschwemmten Böden aus jenen krystallinischen Gesteinen als einfacheren zuerst in's Auge fassen.

Wir betrachten also den Fall, dass eine zu Tage tretende Felsart der beiden behandelten Gruppen allen atmosphärischen Einflüssen der Verwitterung ausgesetzt sei, aber der ganze Process an einem Orte vor sich gehe, wo keine erhebliche Gelegenheit zur örtlichen Trennung der entstandenen Verwitterungsprodukte geboten, und höchstens den durchsickerden Wässern und den in diesen löslichen Stoffen freier Abzug gestattet sei. Erst von diesem einfachern Falle werden wir dann zu dem complicirteren übergehen, der eine Hinwegschwemmbarkeit der Verwitterungsprodukte voraussetzt.

In Bezug auf die dahingehörigen Erscheinungen weichen, wie schon hervorgehoben wurde, die Anschauungen der Plutonisten und Neptunisten durchaus nicht von einander ab, wie denn überhaupt die Vorstellung der Vertreter beider Richtungen von dem Vorgang der Umgestaltung der Massengesteine in die angeschwemmten Gebirgsarten und andere Neubildungen im Wesentlichen identisch sind. Die Kontroversen der beiden geologischen Anschauungen liegen auf einem ganz andern Gebiete, das unsern Betrachtungen ferne steht. Die Plutonisten nehmen vorzugsweise Umbildungen auf der Erdoberfläche in einer und derselben Richtung an, so dass (bei Acceptirung ihrer Ausdrucksweise) fortwährend die plutonischen Gesteine, für deren

Neubildung die Bedingungen in unsern Tagen abhanden gekommen sein sollen*), stets mehr und mehr verschwinden, die Zahl und Wichtigkeit der neptunischen Schichten, die aus jenen entstehen, stetig zunimmt. Dem entgegengesetzt nimmt der neuere Neptunismus auch neben dem continuirlichen Uebergang krystallinischer Gesteine in geschichtete, der als ein überall zu beobachtender natürlich nicht geläugnet werden kann, auch den umgekehrten Uebergang, eine Rückbildung geschichteter Gesteine in krystallinische massige Gesteine in Folge chemischer und physikalischer Vorgänge, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, an, und denkt sich alle geologischen Erscheinungen als Glied eines grossen Kreisprocesses. — Wir lassen Dies bei Seite liegen und betonen nur nochmals, dass für unsere Betrachtungen derartige Kontroversen nicht bestehen.

Die atmosphärischen Einflüsse, die eine Verwitterung der festen blosgelegten krystallinischen Gesteinskruste der Erdoberfläche bewirken, sind zweierlei Natur, *chemisch* und *physikalisch wirkende.* Die letzteren sind in der Art ihrer Wirkung sehr allgemein bekannt, und es brauchen über dieselbe nur einige Worte gesagt zu werden.

Der abwechselnden Hitze und Kälte, dem oft sehr plötzlichen Wechsel der Temperatur, dem alle an der Erdoberfläche befindlichen Körper ausgesetzt sind, wird wegen der damit verbundenen ungleichmässigen Volumänderung der nicht homogenen Gesteinsmassen, ein erheblicher Einfluss auf die Lockerung des Gefüges derselben zugeschrieben. In der That sind die krystallinischen Massengesteine, wie wir sie in der letzten Vorlesung näher in's Auge gefasst haben, sammt und sonders ihrer Struktur nach Gemenge zweier oder mehrer Mineralspecies, welche sich in (im Allgemeinen) verschieden hohem Grade ausdehnen, wenn man sie einer gleichartigen Temperaturveränderung aussetzt. — Indessen sehen wir viele unserer krystallinischen Gesteine diesem Einfluss einen sehr bedeutenden Widerstand entgegensetzen, und dieses Moment der mechanischen Verwitterung ist zweifelsohne vielfach überschätzt worden. Ich brauche nur an die altägyptischen Bauwerke zu erinnern, deren Oberfläche schon Jahrtausende den genannten Einflüssen vollständig getrotzt hat z. B. an den leicht zugänglichen Granit-Obelisken, den Napoleon der erste auf der Place de la concorde in Paris aufgestellt hat. Es ist sogar mit Bestimmtheit hervorzuheben, dass ein Theil jener krystallinischen Felsarten trotz jener Theorie der ungleichartigen Ausdehnung den Wärmedifferenzen vollkommen zu trotzen verstehen, und vorderhand muss dieses Verwitterungsmoment als ein in den meisten Fällen problematisches angesehen werden.

Eine mechanische Zerstörung soll ferner eingeleitet werden durch das *beim Gefrieren sich sehr erheblich ausdehnende Wasser,* welches in die Gesteinsritzen eindringend diese erweitert und so zur Zerkleinerung der Felsmassen erheblich beitragen soll. Es ist unmöglich, diesen Einfluss zu läugnen, denn unsere tägliche Erfahrung lehrt, dass dem Wasser beim Gefrieren diese Wirkung zukommt, und dass dasselbe sogar offene Wasserflaschen auf solche Weise zu zersprengen vermag. Allein es ist daran zu erinnern, dass vorher Spalten und Risse im Felsen vorhanden sein müssen.

*) Mit Ausnahme der lokalen vulkanischen Erscheinungen und der noch zu erwartenden Eruptionen der feurig-flüssigen Erdmasse.

damit das gefrierende Wasser diese Wirkung geltend machen kann, dass ferner auf grossen Strecken der Erdoberfläche der Frost eine unbekannte Erscheinung ist und nicht als Verwitterungsmoment herangezogen werden kann. Jedenfalls ist eine eigentliche Pulverisirung auf diesem Wege nicht denkbar, es seien denn schon chemische Wirkungen vorausgegangen.

Als drittes rein mechanisches Verwitterungsmoment wäre noch etwa *die Kraft des fallenden Regenwassers* zu nennen. „Der fallende Tropfen höhlt den Stein aus.“ Dieser Erfahrungssatz dient als Sprichwort, um uns eine Vorstellung der Macht der Zeit zu geben, in der auch sehr kleine Kräfte zur erheblichen Wirkung gelangen können. Aber gerade dieser Gebrauch des vorstehenden Satzes beweist uns, dass wir es mit einer in kurzen Zeiten sehr geringen Kraft zu thun haben.

Aus dieser ganzen Darstellung erhellt, dass bei der beginnenden Verwitterung, wenigstens, wenn keine Ortsveränderung des zertrümmerten Materials erfolgt, *mechanische Kräfte* keine sehr grosse Rolle spielen, denn andere Kräfte dieser Art stehen unter den angenommenen Umständen keine mehr zu Gebote. Erst wenn es sich später um die Weiterschleppung des theilweise zerkleinerten Gesteins nach tiefer gelegenen Stellen der Erdoberfläche handelt, werden wir auch diese physikalischen Kräfte in Wirksamkeit und emsig zur weiteren Pulverisirung jenes beitragen sehen. Doch diesen Fall hatten wir Anfangs der Einfachheit wegen ausgeschlossen.

Die *chemischen Kräfte* indessen sehen wir gleich von Anfang an eine grosse Rolle in dem Verwitterungsprocesse spielen und, wenn wir es nun unternehmen, deren Wirksamkeit unserm Verständnisse zugänglich zu machen, so müssen wir einerseits die chemischen Mittel, welche die Atmosphäre zur Vornahme von Zersetzungen besitzt, andererseits das diesen Eingriffen unterworfene Material, die verwitterbaren Gesteinselemente näher in's Auge fassen und die Reaktionen studiren, die sich zwischen beiden Contrahenten dieses Verwitterungsprocesses abwickeln.

Der Atmosphäre stehen folgende chemischen Kräfte zu Gebote: Der *Sauerstoff der Luft,* der gewöhnliche wie der „aktive“ (das Ozon), welcher manche Bestandtheile des Gesteins, die verhältnissmässig sauerstoffarm sind, — ich erinnere an das vielfach in den in der letzten Vorlesung vorgeführten Analysen figurirende Eisenoxydul — zu verändern strebt, — die *Kohlensäure der Luft,* — die *Meteorwässer* als solche und die *in diesen Wässern aufgelöste Kohlensäure* und der in denselben enthaltene *Sauerstoff.* Auf diese Stoffe und deren Zusammenwirken muss sich die chemische Verwitterung, so lange die organische Welt an derselben keinen Theil nimmt, zurückführen lassen.

Der Sauerstoff der Luft (oder der in Wasser gelöste) wird nur auf Mineralien wirken können, die wie Hornblende und Augit grosse Mengen Eisenoxydul in sich enthalten, während seine Wirkung auf die andern wichtigeren Gesteinselemente, die Feldspathe, die Nichts Oxydirbares in sich enthalten, gleich Null sein wird. Dort aber wird er wohl den Anlass zu einem völligen Zerfallen des Minerals zu einem braunen, durch Eisenoxyd gefärbten, feinen Pulver geben*) und so das Mineral in einem für weitere Verwitterungsmomente weit zugänglicheren Zustande hinterlassen.

*) So wird Melaphyr und Basalt beim Verwittern häufig braun durch Ausscheidung von Eisenoxyd.

Das *reine Wasser* an sich ist nach der durch Experimente wohlbegründeten *) Ansicht der Mineralogen schon ein Körper, dem wir zersetzende Wirkungen in Bezug auf die die krystallinischen Gesteine constituirenden Mineralien zuzuschreiben haben. Versuche lehren, dass das reine Wasser an sich schon auf die Alkalifeldspathe: Kalifeldspath und Oligoklas einwirkt und dieselben einerseits in Kaolin, der im Wesentlichen kieselsaure Thonerde ist, andererseits in lösliches kieselsaures Kali oder Natron verwandelt, oder wenigstens diesen Process einleitet. Jedenfalls wird aber diese Wirkung durch die Kohlensäure der Luft und des Regenwassers unterstützt, theilweise wohl, weil diese zur Lösung des basisch kieselsauren Alkalis beiträgt. Der Process kann draussen in der Natur nur eine erhebliche Dimension annehmen, wenn das gelöste Alkali durch die Wässer fortgeführt wird. **)

In den Quellen, die aus der ersten von uns unterschiedenen Gesteinsgruppe, für die das Vorhandensein eines Alkali-Feldspaths charakteristisch ist, aus den Graniten (Gneissen), Prophyren etc. entspringen, ist die eben besprochene Wirkung leicht zu constatiren. Diese Quellen reagiren stets wegen ihres Gehalts von (nur an die schwache Kieselsäure gebundenen) fixen Akalien schwach alkalisch, sie sind sogenannte weiche Wässer, die sich gut zum Waschen eignen, und haben die Eigenthümlichkeit, sich mit humosen Stoffen (langsam vermoderuden Pflanzenresten), also z. B. beim Durchsickern durch torfigen Boden oder eine dunkelgefärbte Ackererde braun zu färben, was auf der Bildung von später näher zu besprechenden löslichen humussauren Alkaliverbindungen beruht.

In einer hievon abweichenden Weise wirken die Meteorwässer auf die Mineralien ein, in denen die Alkalien mehr und mehr in den Hintergrund, die alkalischen Erden in den Vordergrund treten, also auf Labrador, Augit und Hornblende und die aus ihnen bestehenden Gesteine,

Hier gibt es kein an sich in Wasser lösliches Spaltungsprodukt hinwegzuführen, und desshalb ist die Wirkung des reinen Wassers auf diese Gesteinselemente verschwindend. Hier tritt die Kohlensäure nicht blos als ein Beförderer des Zerlegungsprocesses dieser Silicate, sondern als der hauptsächliche Veranlasser derselben auf. Das mit Kohlensäure geschwängerte Wasser bewirkt eine Zerlegung in der Weise, dass einerseits kohlensaure alkalische Erden entstehen, die in weiteren Mengen Kohlensäure gelöst das sich zersetzende Mineral verlassen. Hierdurch wird neben kieselsaurer

*) Vergl. darüber Bischof: Lehrb. d. Geologie II., p. 978. Haushofer: Journ. f. pr. Chem. B. 103. p. 121 und Daubrée Compt. rend. T. 64. p. 339.

**) Es wird vielleicht hier die Frage aufgeworfen werden, wie es kommt, dass die krystallinisch-massigen Gesteine einer Veränderung durch die atmosphärischen Einflüsse erliegen, da sie doch unter diesen selben Bedingungen ursprünglich entstanden sein müssen. Bei Acceptation der plutonistischen Hypothese ist es leicht, auf diese Frage eine stichhaltige Antwort zu geben, indem man auf die Verschiedenheit der Affinitäten (der Wahlverwandtschaften) bei verschiedenen Temperaturen hinweist und namentlich zeigt, wie die Kieselsäure in der Glühhitze alle anderen Säuren, am Leichtesten aber die Kohlensäure aus ihren Verbindungen auszutreiben vermag, während die Kohlensäure umgekehrt bei niedriger Temperatur und Gegenwart von Wasser die Silicate langsam zersetzt. — Dem Neptunismus bereitet diese Fragestellung eher einige Schwierigkeiten, und die Beantwortung, soweit sie gegeben wird, fällt zusammen mit jenem der Verwitterung entgegengesetzten von ihm angenommenen Rückbildungsprocess, dessen Grundlagen hier zu erläutern uns zu weit führen würde.

Thonerde ein Rest von freier Kieselsäure, die sich aber im amorphen und fein vertheilten Zustande befindet und so ihre Affinitäten im Gegensatz zum ganz indifferenten Quarze geltend macht, erzeugt, der nun der weiteren Auslaugung der alkalischen Erden eine Grenze setzt und mit einem Theil derselben ein zeolithartiges Mineral bildet, dessen Vorhandensein für gewisse Eigenschaften der Ackererde von hohem Werthe ist.

Der Verwitterungsprocess solcher alkalische Erden enthaltender Silicate geht also in jener Beziehung in ganz anderer Weise vor sich, als bei den alkalireichen Feldspathen. Die abfliessenden Wässer sind nicht alkalisch reagirend, enthalten im Wesentlichen keine kieselsauren Alkalien, sind sogenannte harte Wässer, da sie in Berührung mit Seife deren Wirkung durch Niederschlagen von fettsauren alkalischen Erden vernichten, und färben sich durch humusreiche Bodenschichten filtrirt niemals braun, da die humussauren alkalischen Erden fast ganz unlöslich sind. Der zurückbleibende thonige Rest unterscheidet sich sehr von dem Kaolin, der sich chemisch ziemlich indifferent verhält, denn jener ist vermöge der freigewordenen fein vertheilten Kieselsäure zu den mannigfachsten Veränderungen bereit, wenn er mit Alkalisalzen oder auch mit Salzen alkalischer Erden von Neuem in Berührung kommt, die Basen derselben in sich aufnehmend und mit ihnen Verbindungen sehr complicirter Natur bildend.

In dieser Weise verläuft also der Verwitterungsprocess bei Mineralien*) wie Labrador, Augit und Hornblende; nur mit dem Unterschied, dass letztere beide schon durch den Sauerstoff angegriffen und in ihrem Zusammenhang erschüttert werden, indem Eisenoxydul, das an Kieselsäure gebunden gedacht werden muss, aus diesem Zusammenhang gerissen und in Eisenoxyd übergeführt wird, während der eisenoxydulfreie Labrador lediglich den Einflüssen des mit Kohlensäure geschwängerten Wassers unterliegt. Auf diesen Gesichtspunkt kann denn auch vielleicht die verschiedene Widerstandsfähigkeit dieser Mineralien den Agenzien der chemischen Verwitterung gegenüber zurückgeführt werden.**)

Es folgt nun weiter selbstverständlich, dass der hier beschriebene Verwitterungsmodus die Gesteine der zweiten Gesteinspruppe, die wir unterschieden haben, betrifft. Harte Wasser von den eben erörterten Eigenschaften entspringen in der That diesen Gebirgsarten, besonders den Hyperiten und Basalten, während der Syenit seiner Zusammensetzung entsprechend auch hier sich weniger entschieden auf diese Seite schlägt.

Ueberhaupt darf man auch bei Betrachtung dieser Verhältnisse nicht vergessen, dass in der Natur sich keine ganz scharfe Grenze ziehen liess zwischen den kiesel-thon-alkalischen Gesteinen und kiesel-eisen-kalkigen Gesteinen, dass die ersteren stets alkalische Erden, wenn auch in zurücktretender Menge, enthalten, dass die letzteren

*) Vergl. über die Verwitterungsfähigkeit verschiedener Gebirgsarten. Fraas: Grundzüge des landw. Pflanzenbaues 1857, p. 6. — Umfassende Verwitterungsversuche namentlich mit kohlensäurehaltigem Wasser und Lösungen von Ammoniaksalzen sind von Dietrich (vergl. Journ. f. pr. Chemie. B. 74. p. 129) angestellt worden; ebenso an Ackererden von Knop und dessen Schülern (siehe Kreisl. d. Stoffs II. p. 189).

**) Natürlich kommt bei der Verwitterbarkeit der einzelnen Gesteine auch deren Feinkörnigkeit, Porösität u. s. w. in Betracht.

Alkalien oft in bedeutenden Mengen enthalten, und so ist das eben Gesagte auch stets nur relativ richtig. So tritt bei der Verwitterung von Alkali-reichen Basalten und Doleriten auch stets Kieselsäure in erheblichen Mengen mit dem weggeführten Alkali aus.*) und alle nicht ganz kalkarmen Granite, Prophyre, Trachyte werden es niemals durch Verwitterung bis zur Bildung eines reinen Kaolins bringen können.

Allein trotzdem ist auf den eben berührten Gesichtspunkt noch einmal besonders aufmerksam zu machen, denn er ist für die Theorie mancher Bodeneigenschaften**) von ganz bedeutender Wichtigkeit. Silicate, die neben Thonerde im Wesentlichen nur Alkalien an Kieselsäure gebunden enthalten, namentlich frei sind von Kalk und Magnesia, sind bei der Verwitterung, wenn nicht bei derselben von anderen Gesteinen abfliessende Wässer, die reich an alkalischen Erden sind, sich betheiligen, zur eigentlichen Kaolinbildung geeignet, während diejenigen Silicate, die erhebliche Mengen dieser beiden Stoffe enthalten, stets bei der Verwitterung complicirter zusammengesetzte Silicate bilden, die sehr leicht veränderlich sind und gegen neu hinzutretende Stoffe in der mannigfachsten Weise reagiren. Die so entstehenden Silicate, die von Einigen geradezu Zeolithe***) genannt worden sind, enthalten stets noch wesentliche Mengen alkalischer Erden und von Alkalien. Auf dieses Verhalten, das wir einstweilen im Auge behalten wollen, werden wir später zurückkommen und weitere Folgerungen darauf basiren.

Im Uebrigen sind die Angaben der Mineralogen über den nähern Chemismus der Verwitterung so ausserordentlich ungenügend, die experimentelle Bearbeitung fehlt noch an so vielen Orten, und überhaupt ist die einschlagende Litteratur in Folge dieser Verwirrung so unerquicklich, dass ich es nicht für geboten halten kann, für unsern Zweck weiter auf diesen Gegenstand einzugehen.

Mit Hülfe der nun bekannten Thatsachen sind wir aber im Stande, uns eine ziemlich zutreffende Anschauung zu bilden von der Wirksamkeit der verschiedenen Verwitterungsmomente. Den mechanischen Kräften, die zur Zertrümmerung einer an die Atmosphäre grenzenden Felsschicht beitragen, konnten wir *an sich* keine grosse Bedeutsamkeit zuerkennen. Im Verein jedoch mit den nun erörterten chemischen Zerstörungskräften werden sie Etwas viel Erheblicheres leisten können. Da die Massengesteine (fast) sammt und sonders aus einem Gemische sehr verschiedengearteter Gesteinselemente bestehen, und diese verschiedenen, die Gesteine constituirenden Mineralien in sehr verschiedenem Grade der Verwitterung zugänglich sind, manche sogar derselben beinahe absoluten Widerstand leisten, so bietet, wenn durch die chemischen Kräfte der Atmosphäre einzelne Gemengtheile zu Staub zertrümmert sind, ein so durchhöhltes Gestein nun auch den mechanischen Kräften grössere Angriffsflächen dar. In dieser Hinsicht muss denn namentlich der vorhin schon berührten Kraft des beim Gefrieren sich ausdehnenden Wassers in den gemässigten und kalten Klimaten eine Rolle zugeschrieben werden.

*) Vergl. die Angaben von Ebelmen bei Knop: Kreisl. s. Stoffs II. p. 178.

**) Die Absorptionserscheinungen; vergl. die achtundzwanzigste und neunundzwanzigste Vorlesung.

***) Die Mineralogen nennen vielleicht etwas abweichend hiervon eine Familie wasserhaltiger Doppelsilicate, die durch Salzsäure leicht zersetzt werden können, Zeolithe.

So sehen wir, je nach der ausserordentlich verschiedenen Widerstandsfähigkeit der einzelnen Gesteine, über die sich Allgemeines kaum aussagen lässt, in früherer oder späterer Zeit eine Verwitterungsschicht sich bilden, und schon durch diese Verhältnisse allein wird sich eine Art von Nährboden für manche Gewächse, wenn auch noch nicht sofort eine fruchtbare Ackererde bilden, es sei denn, dass sekundäre Umstände hinzutreten, welche die kaum gebildete Schicht sofort nach ihrer Entstehung wieder hinwegnehmen.

Die Verwitterungsschicht wird aber je nach dem Gestein, aus dem sie entstand, auch sehr verschiedene Eigenschaften haben. War Granit das verwitternde Muttergestein, so hat sich die chemische Veränderung fast ausschliesslich auf das feldspathartige Gesteinselement bezogen; Glimmer und Quarz sind chemisch nahezu intakt geblieben und nur durch das auswitternde Verbindungsmaterial aus ihrem Zusammenhange gerissen worden und finden sich als unveränderte Gesteinsfragmente in der Verwitterungsschicht. — Der zersetzte Feldspath aber, aus dessen Elementen im Wesentlichen die Feinerde der so gebildeten Schicht besteht, wird je nach seiner mehr oder weniger weit gegangenen Zersetzung sich dem reinen Kaolin mehr oder weniger nähern, nur Spuren von Alkalien, oder dieselben noch in reichlicher Menge enthalten. Die Erfahrung lehrt, dass selbst dem äusseren Anschein nach schon völlig in eine weisse thonige Masse übergegangener Feldspath noch häufig sehr viel Alkalien in sich enthält. Bemerkenswerth ist das sehr verschiedene Verhalten von Natron und Kali bei diesem Auswaschungsprocesse, da durch dasselbe die Fruchtbarkeit einer durch eine solche Verwitterung entstehenden Bodenschicht bedingt erscheint. Wie der Natronfeldspath viel leichter verwitterbar ist wie der Kalifeldspath, so wird nachweisbar ein krystallinisches Gestein, das Kali und Natron nebeneinander enthält, viel schneller an Natron beraubt wie an Kali.*)**). Da letzteres ein in erheblichen Mengen erforderliches Pflanzennahrungsmittel ist, ersteres aber jedenfalls für alle praktischen Betrachtungen als solches ganz und gar vernachlässigt werden kann, so ist dies sehr verschiedene Verhalten beider sonst so ähnlichen Metalloxyde von grosser Wichtigkeit. Wir werden auf dies verschiedene Verhalten beider Alkalien bei Erläuterung der Eigenschaften der fertig gebildeten Ackererde noch ausführlich zurückkommen.

In ähnlicher Weise, nur mit den schon ausführlich hervorgehobenen Unterschieden, wird der gleiche Bildungsprocess einer Verwitterungsschicht auch bei anderen Gesteinen vor sich gehend gedacht werden müssen. Die schwer angreifbaren Gemengtheile bilden die groben Einschlüsse einer Feinerde, die ausschliesslich aus den chemisch umgewandelten und dabei ihres Zusammenhangs beraubten Gesteinselementen

*) Dies beweisen z. B. sehr deutlich die vergleichenden Analysen verwitterter und unverwitterter Phonolithe von v. Rath (citirt von Knop) Bischof: Lehrbuch. 2. Aufl. B. 30. p. 370.

**) Auf diese Weise kann dann auch bei Acceptirung der plutonistischen Hypothese der Reichthum des Meeres an Natronsalz erklärt werden, indem die „Urgesteine" bei Verwitterung und Auslaugung vorzugsweise Natron verloren und so Veranlassung zu kalireicheren sekundären Bildungen (vergl. z. B. die Analysen der thonigen Sedimentgesteine auf p. 40), namentlich einer relativ kalireichen Ackererde gegeben hätten.

besteht. Diese eingebetteten, noch unangegriffenen Gesteinselemente sind nun je nach der Gebirgsart, aus der die Verwitterungsschicht gebildet wurde, sehr verschiedener Natur, sie können ebenso gut wie Quarz und Glimmer auch Labrador, Hornblende, ja sogar Kalifeldspath sein, wenn diese mit leichter zersetzbaren Mineralien zusammen eine Felsart gebildet hatten, und je nach der Beschaffenheit dieses der Feinerde eingebetteten Grusses wird die Bodenschicht noch einer weiteren Verwitterung ausgesetzt sein, oder die Umwandlung wird für die einmal vorhandene Schicht als nahezu beendet angesehen werden können. Es kann gesagt werden, dass die Mehrzahl auch der schon lange von Pflanzen bestandenen und in Kultur stehenden Böden noch derartige unverwitterte, aber verwitterbare Elemente in sich enthält, und gerade aus diesem Gesichtspunkte ist die so allbekannte Erfahrung zu erklären, dass häufig nur ein so kleiner Theil des analytisch nachgewiesenen Bodenreichthums für den Pflanzenbau verfügbar erscheint.

Wir können aus dieser ganzen Darstellung zur Genüge ersehen, dass schon die bisher behandelten Zerstörungsmomente zu einer gewissen Bodenbildung genügen. Hunderte von Beispielen lehren, dass die auf die beschriebene Weise sich bildende Verwitterungsschicht für das Gedeihen einer, wenn auch kleineren Reihe von Gewächsen genügt. Wir sehen diejenigen unserer Gebirge, welche ganz und gar aus den bisher betrachteten Gesteinsarten bestehen, über und über bewaldet, mit Ausnahme der Stellen, wo wie an steilen Felswänden der Regen und die Sturzbäche die dünne Verwitterungsschicht immer wieder von Neuem losspülen, wo keine Anhäufung der Verwitterungsmasse möglich ist; und wenn auch zugegeben werden muss, dass die ursprüngliche rein mineralische Verwitterungsschicht wegen ihrer Stickstoffarmuth und des Mangels an verwesenden organischen Substanzen für die meisten Gewächse Anfangs ein wenig zuträglicher Nährboden ist, auf dem eine üppige Entfaltung derselben nicht möglich erscheint, so ist doch leicht zu ersehen, wie wir später weiter auszuführen haben werden, dass ein solcher Boden blos durch den Umstand, einmal von Pflanzen occupirt zu sein, an Fruchtbarkeit mehr und mehr zunehmen muss, da die sich anhäufenden Reste abgestorbener Pflanzen gerade jenen Stickstoffreichthum und die anderen erwähnten Vortheile herbeiführen. Für die anspruchsvolleren Pflanzen muss dann immer eine Besitzergreifung des Terrains durch andere, weniger begehrliche gedacht werden, die durch ihre Leichen den Boden zubereiteten für ihre vornehmeren Nachfolger.

Nun ist aber in Wirklichkeit die Sachlage nicht ganz so, wie wir sie uns eben gedacht haben. Die Oberfläche der Erde ist grossentheils nicht so beschaffen, dass immer Das eintreten könnte, was wir uns bisher vorgestellt haben. Bedeutende Erhebungen über die grossen Ebenen und das Weltmeer sind an den verschiedensten Punkten unseres Planeten vorhanden, und diese Erhebungen, in Bezug auf deren Entstehungsweise sich wieder die Anschauungen der verschiedenen geologischen Richtungen schroff entgegenstehen, sind jedenfalls in ähnlicher Weise durch die vergangenen Erdepochen hindurch schon dagewesen und haben in diesen genau Dasselbe zur Modification der Bodenbildung und neuen Gesteinsbildung auf Kosten des verwitterten Materials jener krystallinischen Gebirgsarten beigetragen, was wir nun für die Zustände der Gegenwart in's Auge zu fassen beabsichtigen. Dieser Zustand der ausserordentlichen Terrainverschiedenheiten, wie wir ihn an vielen Stellen unserer Erdoberfläche, in den

sogenannten gebirgigen Gegenden beobachten, wirkt nun einerseits in der Weise auf die Bildung der Verwitterungsschichten ein, dass losgelöste Trümmermassen an abhängigen Orten Gelegenheit haben zum Hinabstürzen, und, wenn Dies geschieht, so eine Ursache zu ihrer weiteren mechanischen Zerkleinerung gegeben ist, dass ferner solche herabgestürzte Trümmermassen ganz besonders durch ihre Gestalt hinlänglich gekennzeichnete Stellen der Erdoberfläche, nemlich die, steilen Gebirgswänden nahegelegenen, Terrainfalten und Einschnitte ausfüllen müssen, wie wir Dies ja häufig genug zu beobachten Gelegenheit haben.

Aber dieses Verhalten allein würde die Sachlage, wie wir sie bisher betrachtet haben, noch nicht wesentlich abzuändern im Stande sein. Es wäre allerdings durch das Zerschellen beim Herabfallen für manche Stellen der Erde ein neues Moment zur mechanischen Zertrümmerung der einmal losgelösten Gesteinsmassen gegeben, und die Verwitterungsschichten würden sich ausserdem nicht immer genau am Orte ihrer Entstehung befinden, nicht überall genau ihrem Muttergesteine aufgelagert sein. Im Grossen und Ganzen wäre doch die Sache dieselbe. In unsern abfliessenden Wässern würden sich nur die bei der Verwitterung in Lösung übergegangenen Substanzen befinden und dieselben, so wie die Meere, in die sie das gelöste Material verschleppen würden, könnten keine andern Ablagerungen bewirken, als solche, die sich durch Wechselwirkung verschiedengearteter Verwitterungswässer oder dieser auf andere Gesteinsarten, oder endlich in Folge der Verdunstung aus ihnen ausscheiden würden.

Dieser Hinweis genügt, um darauf aufmerksam zu machen, in welch' anderer Weise noch die Terrainverschiedenheit thatsächlich auf der Erdoberfläche auf den Gang der geologischen Umformungsprocesse einwirkt. Derselbe zeigt deutlich, dass es die *mechanische Kraft**) *des fallenden Wassers* ist, die durch jene Terrainverschiedenheit zur Geltung kommt, und in der ein sehr mächtiges Umformungsmoment erkannt werden muss. Das durch meteorologische Vorgänge regelmässig aus dem Wassergas der Atmosphäre verdichtete tropfbar flüssige Wasser fällt ebenso auf Gebirge, wie auf die Ebenen des festen Landes, wie in das Weltmeer selbst nieder. Die ganze Menge von Wasser, die von der festen Erdoberfläche nicht durch Verdunstung wieder direkt an die Atmosphäre abgegeben wird, eilt je nach der Neigung des Terrains mit grösserer oder geringerer Hast dem tiefgelegenen Weltmeer zu, um von dort aus zu verdunsten und sich von Neuem zum Wiederantritt des gleichen Wegs anzuschicken. Die Kräfte, die diesen continuirlichen Kreislauf unterhalten und so die Ursache sind zu allen den mechanischen Leistungen, die das fallende Wasser hervorzubringen im Stande ist, welche letzteren wir nun näher auf ihren Effekt untersuchen wollen, haben wir schon früher einmal hinsichtlich ihres Ursprungs gelegentlich **) geprüft. Es ist auch hier wieder die Be-

*) Als Zertrümmerungsmittel von sehr ausgezeichneter Wirksamkeit müssen neben dem tropfbar-flüssigen Wasser die Gletscher betrachtet werden, die in früheren geologischen Perioden noch von weit ausgedehnterer Bedeutung waren als jetzt; — ich erinnere an die durch Gletscher verschleppten, weit zerstreuten Findlingsblöcke. Die Arbeiten, die dabei geleistet werden, lassen sich natürlich auf dieselben Gesichtspunkte zurückführen, wie bei denen des flüssigen Wassers.

**) Siehe die fünfte Vorlesung p. 71.

strahlung durch die Sonne, der wir die in's Spiel kommenden Arbeiten zu verdanken haben, und die so indirekt an dem Zerstörungswerk der festen Erdkruste Theil nimmt.

Die Meteorwässer fallen mit einer gewissen Macht auf die höher gelegenen Gebirge auf, spülen dort an den steilen Abhängen*) die Verwitterungsschicht mit sich fort, sammeln sich in Anfangs kleinen aber durch Vereinigung immer grösser werdenden Rinnsalen an, stürzen als wilde Bäche die Schluchten hinab, eine Unzahl mineralischer Trümmer grösserer und kleinerer Art mit sich fortreissend. Grosse Schuttmassen sammeln sich in den Gebirgsthälern an, um gelegentlich wieder weiter geschleppt zu werden. Die wilden Gebirgsbäche vereinigen sich später zu grösseren Flüssen und Strömen, die auf einem minder abschüssigen Terrain mit einer minder grossen Geschwindigkeit dahineilen, aber immer noch Trümmermassen auf dem Grunde mit sich fortführen **) und eine sehr grosse Menge des Verwitterungsmaterials in Suspension enthalten, um schliesslich alle diese Massen dem Meere einzuverleiben.

Aber nicht blos die grossartige Verschleppung der losgelösten Gesteinsfragmente auf so weite Strecken hin haben wir dem fallenden Wasser zuzuschreiben, sondern in ganz ausserordentlich grossem Massstabe auch die mechanische Zerkleinerung des mit fortgerissenen Trümmermaterials durch Reibung der Bruchstücke an einander. ***) Man braucht nur die runden sogenannten „Kiesel“ zu betrachten, wie wir sie in unsern Flüssen finden, um von dieser mechanischen Zerkleinerung eine Vorstellung zu gewinnen. Selbst die härtesten Gesteinsfragmente wie der Bergkrystall sehen wir schon in den Gegenden des Oberrheins zu kugelrunden „Rheinkieseln“ abgeschliffen. Wenn man bedenkt, wie viel Procente des Gewichts eines ganz beliebig geformten Bruchstücks in Gestalt von staubförmigem Material abgeschliffen werden musste, um zu diesen durchweg rundlichen Formen zu gelangen, so wird man ein ungefähres Bild haben von der Pulverisirungskraft des dahinfliessenden Wassers.

Auf solche Weise werden dann alle Orte, wohin das fliessende Wasser gelangt, also das ganze Ueberschwemmungsgebiet der so vielfach in geologischen Zeiten ihr Bett ändernden Flüsse und Bäche und der Grund des Weltmeeres mit den weggeschwemmten Trümmermassen überführt, und aus diesem Gesichtspunkte muss die Entstehung aller geschichteten Gesteine, muss die ganze Bildung von Boden, der nicht auf seinem Muttergestein aufliegt, erklärt werden.

*) Ueber die Gewalt des fallenden Wassers gibt die Wirksamkeit grosser Wasserfälle auf die Gesteinsunterlage den besten Aufschluss. Diese wirken gleich einer Säge einschneidend auf ihre Unterlage, und in Folge dessen soll z. B. der Niagarafall in 40 Jahren je 1 Fuss zurückrücken. Aehnlich wirkt auch das Meer an vielen Küsten, und es ist z. B. an die vielen Nordseeinseln, wie Wangeroge, Helgoland zu erinnern, die auf diese Weise nach und nach eine sichere Beute des Meeres werden.

**) In manchen Flüssen, die mit grosser Geschwindigkeit aus einem felsigen Terrain kommen, kann man, wie im Rhein zu Basel, beim Untertauchen ein deutliches Klirren des aneinander sich reibenden Kieses vernehmen.

***) Diese hat wieder, wie Daubrée gezeigt hat, einen Einfluss auf die chemische Zersetzung der betreffenden Mineralien; vergl. Compt. rend. T. 44. p. 997 u. T. 64. p. 339.

Allein der wichtigste Gesichtspunkt, der für diesen ganzen Vorgang festgehalten werden muss, ist die *verschiedene Aufschlämmbarkeit der einzelnen Trümmerstücke, der einzelnen mechanischen und chemischen Verwitterungsprodukte.* Aus diesem allein erklärt sich die ausserordentliche Mannigfaltigkeit der Zusammensetzung und Eigenschaften der Flötzgebirge und des angeschwemmten Bodens.

Ob irgend ein Körper, der wie alle Mineralien spezifisch schwerer ist als das Wasser, von diesem dennoch gehoben und mit sich fortgeführt werden kann, Dies wird wesentlich abhängig sein *vom spezifischen Gewicht dieses Körpers, vom Verhältniss von dessen Oberfläche zu dessen Inhalt und von der Schnelligkeit der Bewegung des Wassers.* Aehnliche Verhältnisse werden auch für das Rutschen von Körpern am Grund eines bewegten Wassers massgebend sein, nur dass hiezu im Allgemeinen geringere lebendige Kräfte des bewegten Wassers genügend sind. — Dies behauptete Verhalten ist durch Versuche leicht anschaulich zu machen, ist aber auch theoretisch leicht verständlich, wenn wir uns überlegen, von welchen Kräften es allein abhängen kann, ob ein Körper, der ein höheres spezifisches Gewicht besitzt als Wasser, in diesem am Untersinken gehindert wird. Offenbar muss, damit der erlangte Effekt resultirt, die Differenz zwischen der Schwerkraft des suspendirten Körpers und des von ihm verdrängten Wassers eine kleinere Kraft repräsentiren, als die Reibung, die er in der Richtung des Falls am Wasser erleiden müsste. Erstere Differenz ist nun allein abhängig vom spezifischen Gewichte des Körpers, die Reibung von der Geschwindigkeit des bewegten Wassers und von der Grösse der Reibungsfläche. Diese letztere ist aber nur bedingt von der absoluten Grösse oder Kleinheit des aufgeschwemmten Körpers, und ein kleiner Körper hat bekanntlich bezogen auf die Einheit des Inhalts oder des Gewichts eine viel grössere Oberfläche als ein Körper von grösserem Volum. So kommt man zu dem für die Bildung von mineralischen Ablagerungen aus bewegten Wässern sehr wichtigen Satz, dass *die Aufschlämmbarkeit eines Körpers um so vollkommner sei, je bewegter das verwendete Wasser, je kleiner seine Bruchstücke und je spezifisch leichter derselbe ist.*

Das spezifische Gewicht der einzelnen Gesteinselemente, mit denen wir es bei der Verschwemmung des Verwitterungsmaterials zu thun haben, ist daher von einigem Interesse für uns. Das spezifische Gewicht dieser Mineralien ist durchschnittlich:*)

Mineralien der Massengesteine.		Mineralien sekundären Ursprungs.	
Quarz	=2,66	Kalkspath	=2,7
Orthoklas	=2,55	Dolomit	=2,8—2,9
Oligoklas	=2,65	Thon bei 100° getr.	= 2,5
Labrador	=2,7	Kaolin	=2,2
Glimmer	=2,8—3,1	Gyps	=2,26—2,4
Augit	=2,9—3,5		
Hornblende	=2,9—3,4		

*) Die mitgetheilten Zahlen sind Durchschnittszahlen der Girard'schen „Bodenkunde" oder Naumann's Mineralogie entnommen.

Es ist aus vorstehender kleinen Zusammenstellung *) deutlich zu ersehen, dass die hauptsächlichsten Gemengtheile der Urgebirgsarten keine allzu verschiedenen spezifischen Gewichte haben. Quarz und die verschiedenen Feldspathe, einschliesslich des Kalkfeldspaths, des Labradors haben fast einerlei spezifisches Gewicht. Etwas schwerer ist der Glimmer, noch etwas schwerer Augit und Hornblende.

Nun ist aber die chemische Veränderung bei der Verwitterung zu berücksichtigen. Für das Endprodukt der Feldspathverwitterung, den Kaolin wird zwar ein erheblich niedrigeres spezifisches Gewicht angegeben, als für das ursprüngliche Mineral, allein wenn man die entstandene thonige Masse scharf trocknet — und Dies ist bei einer solch' undichten Masse unerlässlich, — so fallen die Unterschiede nicht so gar erheblich aus. Immerhin kann man sagen, dass das Verwitterungsprodukt der feldspathartigen und anderer verwitterungsfähiger Silicate ein geringeres spezifisches Gewicht hat als das Verwitterungssubstrat.

Ein gewisser, wenn auch nicht sehr bedeutender Unterschied der spezifischen Schwere ist also für die einzelnen Gemengtheile der Verwitterungsschichten der Massengesteine vorhanden. Allein hiedurch würde noch keine sehr erhebliche Verschiedenheit in der Aufschlämmbarkeit jener einzelnen Gemengtheile bewirkt werden; und es ist von ganz wesentlicher Bedeutsamkeit für diese Verschiedenheit, dass die *Grösse* der Theilchen der einzelnen mineralogischen Elemente der Verwitterungsmassen nothwendig eine sehr verschiedene sein muss. —

Ein Theil dieser Elemente sind die unveränderten, der chemischen Verwitterung nicht zugänglichen krystallinischen Bestandtheile der ursprünglichen Gesteine. Diese haben, während sie der ruhig sich bildenden Verwitterungsschicht angehörten, kaum irgend eine Zerkleinerung erfahren und sind in ihrer ursprünglichen Grösse noch in dieselbe eingebettet. Wenn die ganze Schicht von einem heftig bewegten Wasser losgelöst und mit fortgerissen wird, so können diese gröberen Stücke nur nach und nach durch die Kraft des bewegten Wassers langsam abgeschliffen, nicht eigentlich zertrümmert werden, und es wird je nachdem immer ein gröberer oder feinerer Gruss oder Sand übrig bleiben, der als solcher mit fortgeführt wird.

Ganz anders ist es mit den chemisch veränderten Theilen der Verwitterungsmasse. Bei diesen hat eine so feine Pulverisirung durch die chemischen Kräfte stattgefunden, wie sie durch mechanische Mittel kaum zu erreichen ist; denn wenn sich eine solche chemische Umwandlung an einem festen Körper vollzieht und das Umwandlungsprodukt ist amorpher Natur, wie in dem uns vorliegenden Falle der Silicatverwitterung fast ausnahmslos, so ist die gleichzeitige feinste Zertheilung des sich verändernden Körpers eine der nothwendigen Folgen des chemischen Processes. Wir haben es also in den bei der Verwitterung der Feldspathe, der Augite etc. entstehenden thonigen Massen mit Theilchen von äusserster Feinheit zu thun; und

*) Mit derselben befinden sich direkte Bestimmungen specifischer Gewichte von Ackererden in genügendem Einklang. Mulder gibt (vgl. dessen Chemie d. Ackerkrume B. III. p. 363) folgende Zahlen an:

Quarzboden = 2,75 Thonboden = 2,60
Kalkboden = 2,85 Gartenerde = 2,85
humose Erde = 1,25.

diese Eigenschaft ist es, welche die Aufschlämmbarkeit der chemischen Verwitterungsmasse so ausserordentlich über die der blossen mechanischen Trümmer setzt.

Mit Kenntniss dieser wenigen, leicht verständlichen Thatsachen lässt sich nun die Wirkungsweise des bewegten Wassers bei der Wegschwemmung der Verwitterungsschichten und bei der wiedervorsichgehenden Ablagerung dieser Schichten ohne weitere Mühe herleiten. Die mit einer grossen Macht hinweggerissenen, in ihrer Aufschlämmbarkeit so sehr verschiedenen mineralischen Massen werden in ihrer ganzen bunten Mannigfaltigkeit so lange von einem Wildbach getragen werden, bis die Steilheit des Terrains nachlässt, und das Wasser die Raschheit seines Laufes zu mässigen gezwungen ist. — Hier werden dann die gröbsten Gesteinstrümmer, noch ganz unverwitterte Felsstücke oft von sehr bedeutender Ausdehnung abgelagert werden, und es entstehen an ganz bestimmt zu bezeichnenden Orten, da wo eine steile Bergwand plötzlich in eine flachgeneigte Thalsohle übergeht, Trümmerhaufen, sogenannte „Schuttkegel.“ Man wird sich in diesen Gesteinshaufen, deren Fragmente meistens noch keine erhebliche Abrundung erfahren haben, vergeblich nach grösseren Mengen eigentlichen Kieses, von Sand oder gar von chemischen Verwitterungsprodukten umsehen. Das Alles wird von dem rasch fliessenden Bach noch weite Strecken mit fortgenommen, um an ruhigern Orten abgelagert zu werden.

Je mehr aber nun die Bäche sich im weiteren Thale oder der kaum geneigten Ebene zu ruhiger fliessenden Flüssen vereinigen, um so mehr bleiben auch die gröberen Gesteinsfragmente auf dem Grund der Gewässer liegen und werden nur noch langsam fortgeschoben und nehmen dort die besprochene runde Gestalt an. In wirklicher Aufschlemmung bleiben aber ausser jenen thonigen Massen, als die wir ganz allgemein die unlöslichen Produkte einer chemischen Verwitterung der Massengesteine bezeichnen können, nur die unterwegs auf mechanische Weise mehr und mehr zertrümmerten Gesteinsreste, die aber noch ihre ursprüngliche mineralogische Form bewahrt haben. Solche feinere Massen, die auch noch in ruhiger fliessendem Wasser in Aufschlemmung erhalten werden, in stehendem aber sofort niederfallen, werden mit dem Namen „*Sand*“ in dessen weitester Bedeutung belegt, und dieselben bestehen vorzugsweise aus Quarztrümmern, aus den Resten jener Quarz-haltigen Gebirgsarten, wie Granit, Gneiss, Glimmerschiefer und Porphyr, aber auch gelegentlich aus andern Mineralien, die gleichfalls der Verwitterung mehr oder minder schwer zugänglich sind, wie Glimmerblättchen, die dem Quarzsand sehr häufig und namentlich, wo er aus Gneiss und Glimmerschiefer sich gebildet hat, beigemengt sind, wie Labradorstückchen, selbst zertrümmertem Feldspath *) und vielen andern Mineralien, wenn diese der chemischen Verwitterung sich entzogen haben. Wenn indessen von Sand schlechtweg die Rede ist, so wird darunter meistens Quarzsand verstanden.

Gegen die Mündungen der Flüsse hin, wo die Wässer sich mehr und mehr beruhigen, werden nun auch grosse Mengen von Sand vom Wasser fallen gelassen, und nur die chemischen Verwitterungsprodukte, die thonigen Theilchen, die nicht

*) Der Sand der norddeutschen Ebene ist an vielen Orten ein wahrer Feldspathsand, und ebenso gibt es ganz eigentlichen Labradorsand.

sowohl wegen ihres ziemlich kleinen spezifischen Gewichtes, als vielmehr wegen ihrer ungemeinen feinen Vertheilung einer sehr bedeutenden Aufschlämmbarkeit sich erfreuen, werden mit einiger Vollständigkeit in das Meer gelangen, während die noch übrigen gröberen Trümmer die Versandung der Flussmündung veranlassen und dort zur sogenannten Deltabildung Veranlassung geben, wie sie auch schon im oberen Flussgebiete durch Verkiesung und Versandung des einmal ausgehöhlten Bettes die Stromschlingenbildung, häufigen Wechsel des Strombetts bewirken.

Zum Niederschlagen der eigentlichen chemischen Verwitterungsprodukte ist eine ausserordentliche Ruhe der Gewässer erforderlich. — Die Verhältnisse, die das Meer an den Küsten zeigt, die Ablagerungen und Anschwemmungen, die es daselbst bewirkt, erleichtern ausserordentlich das Studium der Bedingungen des Niederfalls dieser feinsten Partikelchen im Vergleich mit dem Sande. Ich möchte an die Umstände der Marschbodenbildung und andererseits der Dünenbildung an der Küste der Nordsee erinnern. — Wie wird z. B. dort das Meer zur Bildung der sogenannten Marschen, jenes thonigen Bodens von ausserordentlicher Fruchtbarkeit gebracht? — Die Sache ist ziemlich einfach. Man zieht gewöhnlich einige feste Dämme in das Meer hinein, um die seichte Stelle herum, auf der Bodenbildung stattfinden soll, und häufig so, dass nur eine kleine Stelle für die Communication mit dem offnen Meere frei bleibt. Dort tritt dann regelmässig zur Fluthzeit das Wasser mit all' seinen aufgeschlämmten Theilen ein, es bleibt daselbst eine Zeit lang in vollkommener Ruhe und fast ganz ausser Verbindung mit dem freien, in fast unausgesetzter Wellenbewegung befindlichen Meere, und wenn jenes endlich zur Zeit der wieder eintretenden Ebbe abfliesst, so ist es von einem grossen Theil seiner aufgeschwemmten Theile durch den in der Ruhe erfolgten Niederschlag völlig befreit. Auf dem Boden des nun wieder vom Meere verlassenen Grundes sehen wir dann einen feinen thonigen Schlamm zurückbleiben, derselbe Schlamm oder „Schlick,“ der vielen Meereshäfen zur Ebbezeit ein so wenig anziehendes Aeussere verleiht. Denselben Process lässt man nun auf den „eingepolderten,“ dem Meere zugänglichen Flächen sich unzählige Male wiederholen, bis man endlich einen Boden von genügender Tiefgründigkeit und Höhe erlangt hat, dann schliesst man die für das Meer offen gelassene Thüre, verstärkt die Dämme oder Deiche, um dem Meer auch bei hohen Fluthen den Eingang unmöglich zu machen, und hat nun einen Boden, der fast ganz aus einer thonigen Masse besteht und von erstaunlicher Fruchtbarkeit ist.

Dicht neben dem Orte, wo wir den ebengeschilderten Process, den die Menschen dem Meere abgesehen und ihm zu ihrem Nutzen nachgemacht haben, vor sich gehen sehen, findet nun unter gewissen Umständen aus demselben Meere eine ganz andere Bildung statt. Ueberall an der Küste, wo der Wellenschlag des Meeres ungehinderten Zutritt hat, wie z. B. an dem Badestrande eines Seebads, ist Nichts von einem thonigen Schlamm zu sehen, sondern nur ein feiner durch die gegenseitige Reibung ausserordentlich rund polirter Sand, den die Wogen bei ihrem Zurückfliessen hinterlassen. Die auch in diesen Wasserwogen suspendirten feineren thonige Theilchen werden unter diesen Umständen natürlich festgehalten und gelangen nicht zum Niederfallen; und so findet denn an all' diesen frei bespülten Küstenstellen, wenn überhaupt die Verhältnisse Ablagerungen günstig sind, Bildung

von Sandbänken unter der Oberfläche des Meeres, von Dünen an der über den Meeresspiegel erhabenen Küsten selbst statt, wenn der Wind zur weiteren Gruppirung der angespülten Sandmassen mitwirkt. Unter allen Umständen entsteht so ein reiner Sandboden von ausgezeichneter Unfruchtbarkeit aus demselben Meere, das vielleicht eine halbe Stunde davon jene fetten Marschen bildet.

Es ist in der That Nichts im Stande, uns ein klareres Bild zu verschaffen über den Charakter der Ablagerungen aus bewegtem und ruhigem Wasser als der Anblick dieser Dünen mit ihrer spärlichen Vegetation von Strandhafer und nebendran der eingepolderten Ländereien mit ihren gedeihlichen Oelsaaten*), als der Anblick der weiten unbebauten Heideflächen des sandigen Geestlandes, das man nur mit den raffinirtesten Mitteln der Landwirthschaft dienstbar machen kann, und dann der fetten Marschländereien mit ihren üppigen Viehweiden an der norddeutschen Küste — Unterschiede, die ganz allein aus jenem einen Gesichtspunkte hergeleitet werden können.

Aber auch im Binnenlande bemerkt man Aehnliches, wenn auch weniger deutlich ausgesprochen. Für die Ablagerung der Flüsse gilt natürlich dieselbe Gesetzmässigkeit, nur dass diese in der Regel noch grössere Mengen eigentlicher Schuttmassen mit sich führen und selten zu einem Grade der Ruhe gelangen können, dass solche rein thonige Ablagerungen zu erwarten sind. Am Oberrhein sieht man z. B. an den Rändern des weiten Rheinthals Lössbänke**) die freilich gewisse Mengen von Sand zu enthalten pflegen, für die aber ein gehöriger Bruchtheil an thoniger Masse***) charakteristisch ist.

Diese Ablagerungen, welche sich auch in sehr vielen andern Flussgebieten vorfinden, sind innerhalb des einstigen Ueberschwemmungsgebiets des Rheins offenbar aus ruhigem Wasser gemacht, und sie bezeichnen jene fruchtbarste Stelle des Rheinthals, die sich am Hang der begrenzenden Gebirge hinzieht. Wir treffen dann neben diesen fruchtbaren Loessbänken, in denen hundertjährige Nussbäume mit seltener Pracht gedeihen, wahre Sanddünen, die sich auf dem rechtseitigen Ufer (zwischen Karlsruhe und Darmstadt) etwa in der Mitte zwischen dem jetzigen Rheinbette und dem Gebirge hinziehen, auf denen verkrüppelte Kiefern ein spärliches Dasein fristen. Auch hier haben wir es mit Ablagerungen aus einem und demselben Wasser zu thun, aber offenbar unter sehr verschiedenen Ablagerungsbedingungen.

Genau Dasselbe finden wir auch an andern Orten. Man betrachte die oberitalienischen Flüsse, welche von den entwaldeten Bergen in der Regenzeit mit ungeheurer Raschheit herniederstürzen, wahre Felsblöcke mit sich fortführend und in die blühenden Thäler sich ein weites Bett wühlend, welche dagegen in der heissen Jahreszeit zu einem Bächlein zusammenschrumpfen, zu einem Nichts, das

*) Angaben über die Fruchtbarkeit der Oldenburg'schen Marschen von Plate (vergl. Preuss. Annal. d. Landw. Monatsh. 1869. X, XI. p. 123); über den Kaligehalt, Phosphorsäuregehalt solcher Ländereien vergl. van Bemmelen: Landw. Versuchsst. 1866. p. 259 und an vielen anderen Orten.

**) Vergl. über die Entstehung der Lössablagerungen und deren nähere Charakterisirung Sandberger: Journ. f. Landw. 1869. p. 213—223; auch Fallou: Agron. Ztg. 1867. p. 214.

***) Diese Ablagerung enthält ausserdem auch Kalk, worauf hier noch keine Rücksicht genommen zu werden braucht.

in dem Trümmerhaufen des ungeheuren Flussbettes kaum aufgefunden werden kann. Hier sind die Bedingungen nicht gegeben zu einem ruhigen, gleichmässigen Abfliessen des gefallenen Wassers; es stürzt in kurzer Zeit mit Gewalt herab und kann nur Boden zerstören, keinen neuen aufbauen, es wirft Schuttmassen in die lachenden Thäler und schleppt das feinere Verwitterungsmaterial ins Meer. —

Man vergleiche mit diesen Verwüstungen die Thätigkeit des Nils, da wo er sich über ein breites Delta in unmerklichem Falle in das Meer ergiesst. Auch hier periodische Ueberschwemmungen; allein solche von langsamem Kommen, langsamem Gehen und langer Dauer. Das Wasser hat sich schon früher in ruhigem Lauf von allen mechanischen Verwitterungsprodukten befreit und lässt nun auf das überschwemmte Aegypten die thonigen Theile niederfallen, und diese physischen Verhältnisse sind es ja bekanntlich, die unter Anderem das Ueberschwemmungsgebiet des Nils zu vielleicht dem ältesten Kulturlande gemacht haben.

Wir haben so durch genügende Beispiele die Fähigkeit des Wassers erkannt, ein ihm übergebenes Verwitterungsmaterial in eleganter Weise in einzelne Glieder mechanisch zu sondern, und somit haben wir uns eines der wichtigsten neu hinzutretenden Momente der Umformung der Gebirgsarten und der Bodenbildung anschaulich gemacht. Mit Berücksichtigung dieses wesentlichen Momentes wird uns dann die Entstehung der sogenannten neptunischen oder Flötz-Gebirge und ebenso des angeschwemmten Bodens, der durchaus nicht von diesen Bildungen getrennt werden darf, rasch verständlich werden. Wir werden so Unterschiede der neugebildeten Gesteins- und Boden-Arten begreiflich finden, die aus jenen zuerst allein berücksichtigten Umbildungsmomenten des Verwitterungsprocesses uns rein unverständlich hätten bleiben müssen.

Sechsundzwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Flötzgebirge und verschwemmte Böden. — Bodenklassification. — Die mechanische Bodenanalyse.

Wir sind nun in Besitz der Kenntnisse, die uns befähigen, die Hauptursachen der Umbildung der krystallinischen Massengesteine in andere Gesteine von sehr abgeänderten Eigenschaften zu verstehen und damit zugleich die Ursachen der mineralischen Zusammensetzung einer weiteren grossen Klasse von Bodenarten.

Das von dem hochgelegenen Festland nach dem Meere hin continuirlich abfliessende Wasser, dessen treibende Kraft auf die Sonnenwärme in letzter Instanz zurückgeführt werden muss, ist nicht bloss die Ursache der weiteren mechanischen Zertrümmerung vieler gröberen Bruchstücke der durch die vorausgegangene Verwitterung losgelösten Felsmassen, es spielt vielmehr eine weit hervorragendere Rolle für die aus diesem Materiale entstehenden Neubildungen durch die grossen Wassermassen eigenthümliche Fähigkeit, *einzelne Glieder der Verwitterungsmasse* nach

ihren spezifischen Gewichten, mehr aber noch nach der Feinheit der einzelnen Theilchen *von einander abzusondern.*

Wir können nach dem Bisherigen drei solcher Glieder der Verwitterungsmasse, die sich hinsichtlich ihrer Aufschlämmbarkeit ausserordentlich verschieden verhalten, und nach denen bei eintretender Verschwemmung die Sonderung eintreten wird unterscheiden. — Einmal die gröberen, noch gar nicht in ihre einzelnen Gemengtheile zerfallenen Gesteinstrümmer die *Schutt-* und *Kiesmassen.* Diese gelangen jedoch begreiflicher Weise durch die Flüsse nur in seltenen Fällen in's Weltmeer*) und haben in demselben nicht gar häufig zur neuen Gesteinsbildung beigetragen. Der Boden, der direkt aus solchen Geröllablagerungen hervorgeht, wird sich durch sein eigenthümliches Gefüge, durch seine Grobporigkeit und völligen Mangel an Feinerde auszeichnen — Eigenschaften, die wir später an sich schon für den Pflanzenwuchs als physikalisch ungünstige erkennen werden. Erst in dem Masse, als die in ihm enthaltenen Gesteinstrümmer der chemischen Verwitterung unterliegen, wird ein brauchbarer Boden aus einem so beschaffenen hervorgehen können. Dies dauert aber in allen Fällen sehr lange Zeit, und es ist noch besonders dabei zu berücksichtigen, dass solche wohlerhaltenen Gesteinstrümmer der Wahrscheinlichkeit nach gerade aus den wenig verwitterbarsten Fragmenten, entweder sehr beständigen Gesteinen wie Gneiss, Glimmerschiefer, oder Gesteinselementen wie Quarzbrocken und dergleichen, die überhaupt sehr unangreifbar sind für die Atmosphärilien, bestehen werden, dass ferner selbst die etwa durch die chemische Verwitterung gebildete Feinerde zwischen den Gesteinsritzen rasch durch jeden Regenguss hinweggespült werden muss, und dass endlich, wenn sich auch eine oberflächliche Verwitterungsschicht gebildet haben sollte, doch ein stark „drainirter" Untergrund mit all' seinen später zu erörternden schädlichen Eigenschaften übrig bleibt. Kurz man wird so begreifen, dass die Ueberführung eines Feldes mit grobem Gesteinsschutt, wie ihn Sturzbäche mit sich führen, demselben unter allen Umständen auf Jahrzehnte hinaus, vielleicht auf immer seine Fruchtbarkeit rauben muss.

Als zweites mechanisch leicht absonderbares Glied der rohen Verwitterungsmasse wird das fein zertrümmerte und in einzelne mineralogische Gemengtheile getrennte, aber noch nicht chemisch veränderte Material, der *Sand* unterschieden werden können. Derselbe kann, wie schon ausgeführt wurde, aus sehr verschiedenen Mineralspecies bestehen; allein der Quarz nimmt hier, wegen seiner grossen Verbreitung und beinahe absoluten Unangreifbarkeit eine sehr hervorragende Stellung ein, so dass wir unter Sand in erster Linie immer Quarzsand zu verstehen haben. Der Sand gelangt nun wegen seiner schon viel bedeutenderen Aufschlämmbarkeit, und weil er auch auf dem Grund der Flüsse leicht mit fortgeschoben und gerollt werden kann, ziemlich vollständig in das Weltmeer. Daselbst wird derselbe entweder an geeigneten Orten angeschwemmt und dient so z. B. zur Dünenbildung, zu einer Art von direkten Bodenbildung. Oder aber derselbe wird irgendwo in der Tiefe des

*) Die eigentlichen Meeresbildungen unter den Flötzgebirgen bestehen meist nur aus feingeriebenem und zersetztem Material, und Geröllmassen spielen nur bei den Süsswasserbildungen eine hervorragende Rolle.

Weltmeers versenkt und dient dort, wenn ein geeignetes Bindemittel*) zum Aneinanderkitten der einzelnen Sandkörner vorhanden ist, zur neuen Gesteinsbildung, zur Bildung der *Sandsteine*.

Solche Sandsteine finden wir in der That in sehr grosser Mächtigkeit als Ablagerungsgebilde aller möglichen geologischen Epochen von den ältesten Zeiten an, wo die silurischen Schichten abgesetzt wurden, bis in der Jetztzeit sehr naheliegende Gruppen, als sicheres Zeugniss dafür, dass durch all' diese grossen Zeiträume ein und derselbe Zerstörungsprocess in gleicher Weise vor sich gegangen ist, dass in allen diesen Perioden die Verschwemmung und Absonderung der unverwitterbaren Gesteinselemente und endlich deren Ablagerung in analoger Weise stattgefunden hat.

Es ist hierbei kaum daran zu erinnern nöthig, dass der Grund dafür, dass wir jene Meeresbildungen, wie die Sandsteine und die nachher zu besprechenden anderen Flötzgebirgsarten heute überall als Gebirgsstöcke mitten im Festlande antreffen, einfach in den manigfachen Gestaltungsveränderungen, die unsere Erdoberfläche durch geologische Zeiträume hindurch erlitten hat, zu suchen ist.

Als Ursache freilich dieser Gestaltungsveränderungen, die sich kurzweg als Hebungen und Senkungen ausgedehnter Länderstriche bezeichnen lassen, werden von den beiden sich gegenüberstehenden geologischen Richtungen sehr verschiedene Dinge angegeben.

Die herrschende plutonistische Richtung erklärt einfach die Hebungen aus Reaktionen des heissen Erdinnern auf die oberflächliche kalte Kruste und glaubt, dass diese erstarrte Kruste beim Anpassen an den immer kühler werdenden und sich fort und fort zusammenziehenden Kern wie ein zu weit gewordenes Kleid auf einem abgemagerten Körper *Falten werfe* und so die vielfachen Verbiegungen und Terrainverschiebungen hervorrufe, welche wir zur Erklärung der Hebung der geschichteten Gesteine nothwendig annehmen müssen.

Nach dieser Auffassung, der wir hier die neptunistische entgegenzusetzen unterlassen, mag man sich die Sache vor sich gehend denken, da es uns hier nur darum zu thun ist, die *Thatsache* jener vielfachen Veränderung der Erdoberfläche, in Folge deren die Meere fortwährend ihre Bassins der Lage und Gestalt noch verändert haben, im Auge zu behalten.

Der Sandstein hat nun je nach der Beschaffenheit seines Bindemittels und je nach den gelegentlichen Beimengungen, die er bei unvollkommener Sonderung von anderen Verwitterungsprodukten in sich aufgenommen hat, eine sehr verschiedene Zusammensetzung und braucht, wie folgende Analysen lehren, durchaus nicht wesentlich aus reiner Kieselsäure zu bestehen.

---

*) Dieses Bindemittel der Sandsteine, durch welches sich dieselben vom losen Flugsande unterscheiden, kann sehr verschiedener Natur und kieselig, kalkig oder thonig sein, und ist der Erhärtungsprocess dieser in gelöster Form eingedrungenen Substanzen noch sehr wenig aufgeklärt. Jedenfalls hat man sich aber diesen Vorgang als einen der Erhärtung unserer Cemente sehr ähnlichen Process zu denken, d. h. auf der Bildung sehr complicirter Silicate von wenig constanter Zusammensetzung beruhend.

	Buntsdst. (Eichsfeld)	Grünsdst. (Westphalen)	Liassdst. (Franken)	Molassesdst. (Oberbaiern)	Thoniger Sdst. (Eichsfeld)
Kieselsäure	98,5% *)	60,3%	75,0%	74,8%	97,1%
Thonerde	0,8%	4,9%	—	1,5%	1,1%
Eisenoxyd (oxydul)	0,5%	7,1%	7,7%	1,9%	0,7%
Kalk	—	14,0%	5,0%	11,5%	—
Magnesia	0,24%	1,3%	1,5%	—	0,6%
Kali	—	1,1% **)	—	—	—

Man bekommt durch diese Analysen einen ungefähren Ueberblick über die vorkommenden Variationen der Zusammensetzung der verschiedenen Sandsteine. Man darf übrigens auch hier wieder nicht glauben, dass von denjenigen Bestandtheilen, die in den Gesteins-Analysen gewöhnlich übersehen sind, wie z. B. Kali, Phosphorsäure, nun auch nicht einmal Spuren vorhanden seien. Es gilt hierfür, was ich schon früher einmal für das Vorkommen der Phosphorsäure in den Massengesteinen hervorgehoben habe: wenn man ernstlich sucht, so findet man auch in allen Fällen diese Stoffe in geringen aber für den landwirthschaftlichen Gesichtspunkt durchaus nicht zu vernachlässigenden Mengen. So wurde in dem angeführten westphälischen Sandstein sogar 0,8 % Phosphorsäure aufgefunden, eine für eine Ackererde sehr bedeutende Menge.***)

Was die direkt aus Sandablagerungen gebildeten Böden betrifft, so werden dieselben in vielen Fällen wie die eigentlichen Geröllböden sehr arm sein an den chemischen Verwitterungsprodukten, um so ärmer, aus je bewegterem Wasser sie abgelagert wurden. Bestehen dieselben nur wesentlich aus Quarz mit einigen Glimmerblättchen †) und enthalten sie keine verwitterbaren Gesteinselemente in sich wie Feldspath- und Labrador-Körner, so werden sie dem Geröllboden an Unfruchtbarkeit nahekommen ††). Allein es ist schon hier darauf hinzuweisen, dass sich der Sandboden in seinen physikalischen Eigenschaften ausserordentlich von dem Kies- und Geröll-Boden unterscheidet und desshalb durch geeignete Behandlung in allen Fällen Etwas aus ihm gemacht werden kann, wie werden wir dann später sehen. In der That finden wir blühende Länderstriche, deren Boden an sich aus einem sehr armen Sande besteht, und die durch die Kultur nach und nach fruchtbar geworden sind.

Als drittes Glied jener aus den krystallinischen Massengesteinen sich bildenden Verwitterungsmasse haben wir dann *die chemischen Zersetzungsprodukte* von aus-

*) Vergl. Girard: Bodenkunde 1868, p. 117.

**) Der Kaligehalt der Sandsteine ist oft bedeutend höher, doch pflegt dasselbe in unverwitterten Orthoklastrümmern in für Säuren schwer zersetzbarer Form vorhanden zu sein.

***) Der Phosphorsäuregehalt der Sandsteine ist indessen meistens sehr gering. E. Wolff, fand im Buntsandstein von Neuenbürg 0,025% davon. Vergl. Landw. Jahresber. 1867/68. p. 2.

†) Dies ist indessen der seltenere Fall. Senft fand in der Regel 2—25% anderer Mineraltrümmer, z. B. in Sand aus der Provinz Brandenburg 17% Orthoklas und 2% Hornblende, aus der Lausitz 25% Orthoklas und etwas Glimmer, aus der Lüneburger Heide fast 4% Basaltkörner, aus Mecklenburg 10% Orthoklas und 2% Basaltkörner u. s. f.; vergl. Landw. Jahresber. 1867/68, p. 8.

††) Fallou fand im Heidesandboden des nordd. Flachlandes im Mittel vieler Untersuchungen 0,036% Phosphorsäure, 1,0% Kali (wovon aber nur der 24ste Theil in Säuren leicht löslich) 0,036 Kalk, 0,015 Magnesia, 0,017 Schwefelsäure; vgl. Chem. Ackersmann 1863, p. 78.

serst feiner Zertheilung zu besprechen. Wir haben dieselben als thonige Masse bezeichnet, und diese Bezeichnung ist trotz der Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung dieser Verwitterungsprodukte in sofern richtig, als kieselsaure Thonerde stets ein wesentlicher und der weitaus vorherrschende Bestandtheil derselben ist, wenn auch je nach dem Muttergestein, dem sie entstammen, noch alkalische Erden, Eisenoxyd, Alkalien u. s. w. an ihrer Zusammensetzung sich betheiligen. Wenn wir dieses Verhaltens eingedenk bleiben, so können wir immerhin von jenen Produkten der chemischen Verwitterung als einer thonigen Masse reden, wir werden dann auch immer an ihre ausserordentliche Aufschlämmbarkeit unwillkürlich erinnert werden.

Wir haben schon in unsern Betrachtungen der letzten Vorlesung die sehr verschiedenen mechanischen Bedingungen der Ablagerung dieser Klasse von Verwitterungsprodukten von den der ihnen zunächst stehenden, des feinen Sandes kennen gelernt, und so werden wir auch hier eine gesonderte Gesteinsbildung von Seiten dieser thonigen Verwitterungsmassen zu erwarten haben. — Damit ist freilich nicht gesagt dass nicht auch Zwischenglieder möglich wären. Unter gewissen Bedingungen, die namentlich dann werden realisirt werden können, wenn sehr bewegte Wassermassen, die Sand und Thon in Aufschlämmung erhalten, plötzlich zur vollkommenen Ruhe gelangen, wird eine gemischte Ablagerung beider Stoffe möglich sein.

Die thonigen Theile dienen nun entweder zur direkten Bodenbildung, wie zu der des Kleybodens in den Marschen, dessen Entstehungsweise wir in der vergangenen Vorlesung als ein lehrreiches Beispiel verwendet haben, oder — und Dies ist jedenfalls der gewöhnliche Modus — es werden aus ihnen Ablagerungen auf dem Meeresgrund gebildet, die zu Gesteinen erhärten, auf ähnliche, noch ebenso wenig völlig aufgeklärte Weise*) wie die Sandablagerungen zu Sandsteinen. Gesteine, die ihre Entstehung wesentlich auf diese thonigen Elemente zurückleiten, heissen dann *Thone, Schieferthone, Thonschiefer* etc., sie kommen ebenso wie Sandsteine durch die ganze Reihenfolge von geologischen Epochen hindurch vor von der ältesten bis zur neusten Zeit und ihre Erhebung aus dem Meeresgrund muss selbstredend auf die nemlichen Niveauveränderungen der Erdoberfläche wie dort zurückgeführt werden. Die Zusammensetzung solcher Thonablagerungen ist natürlich je nach dem Ursprung der verwitterten Theilchen, je nach deren Vermischung mit andern chemisch unveränderten Gesteinselementen u. s. w. sehr verschieden, und dabei ist nur hervorzuheben, dass solchen thonigen Meeresablagerungen nicht mehr angesehen werden kann, ob sie den verwitterten Alkali-Feldspathen oder Augiten und Hornblenden, entstammen, ob sie sich von der einen oder der andern der beiden unterschiedenen Gruppen der Massengesteine ableiten; denn man muss bedenken, dass man es schon in den Verwitterungsprodukten, die ein und derselbe Fluss mit sich führt, in der Regel mit solchen zu thun hat, die aus sehr verschieden gearteten Gebirgen stammen, und dass nun gar im Meere die thonigen Substanzen des verschiedensten Ursprungs in den allermeisten Fällen sich mit einander vermischen müssen. Wir werden also in diesen

*) Es erscheint wahrscheinlich ganz und gar ausreichend, für den Vorgang der Erhärtung der thonigen Ablagerungen auf den Druck hinzuweisen, dem diese Schichten auf dem Grunde des Meeres durch Jahrtausende ausgesetzt gewesen sein müssen, und ganz überflüssig, dazu noch weitere Bindemittel in Anspruch zu nehmen.

Meeresbildungen z. B. keinen reinen Kaolin erwarten dürfen, sondern stets Thone, die erhebliche Mengen von Eisen und alkalischen Erden in sich einschliessen.

Doch es sei auch hier wieder die Zusammensetzung einiger solcher thonigen Meeresbildungen mitgetheilt.

	Thonschiefer		Schieferthon			Liasschiefer
	(Harz)	(Fichtelgebirge)	(Saarbrücken)	(England)		(Osnabrück)
Kieselsäure	61,7 % *)	54,2 %	72,9 %	61,9 %		79,0 % (Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd)
Thonerde	19,8 %	24,1 %	16,7 %	21,7 %		
Eisenoxyd	10,1 %	11,4 %	Ḟe 5,6 %	Ḟe 4,7 %		
Kalk	0,8 %	0,2 %	—	0,1 %		0,9 %
Magnesia	3,0 %	3,6 %	0,9 %	0,6 %		0,07 %
Kali	2,0 %	2,1 %	1,4 %	3,2 %	löslich in Salzsäure	0,19 % (Kali und Natron)
Natron	1,3 %	0,8 %	0,8 %	0,3 %		

Für die Zusammensetzung**) der Thone ist ganz allgemein gültig, dass die einzelnen chemischen Bestandtheile der Gesteine mit ziemlicher Gleichmässigkeit in denselben verbreitet sind: Im Kaligehalt nähern sie sich ganz abweichend von den Sanden wieder den Massengesteinen, und Dies ist schon aus der besprochenen Bildung sehr complicirt zusammengesetzter Silicate, die vor sich geht, sobald neben Kieselsäure und Thonerde Eisen oder alkalische Erden vorhanden sind, verständlich. Phosphorsäure, die auch hier bei der Analyse gewöhnlich übersehen ist, wird, wenn man nach ihr sucht, auch ausnahmslos gefunden. In einem Thonschiefer (von Tharand) hat Stöckhardt***) 0,76 % Phosphorsäure gefunden, was für eine Ackererde eine sehr erhebliche Menge wäre. Für die Phosphorsäure scheint bei der Verschwemmung der Verwitterungsprodukte, aus denen dieselbe wegen der Schwerlöslichkeit ihrer Verbindungen nicht leicht durch atmosphärische Wässer ausgezogen wird, das Verhalten der Art zu sein, dass eine ziemlich gleichmässige Ablagerung derselben in allen neuentstehenden Gesteinen besteht. In welcher Weise Dies geschieht, ist freilich bei der geringen Menge der noch vorliegenden Angaben für Phosphorsäuregehalt der einzelnen Gesteine und Gewässer nicht zu sagen.

Mit den bis jetzt betrachteten Ablagerungen sind jedoch die Gruppen, unter die sich die Neubildungen aus dem Verwitterungsmateriale der Massengesteine bringen lassen, keineswegs erschöpft. Wir finden unter den Flötzgebirgen neben den Sandsteinen und Thonen (die gröberen Gesteinstrümmer spielen, wie gesagt, unter den

*) Auch diese Zahlen sind Girard's Bodenkunde 1868, p. 112, entnommen, mit Ausnahme der Analyse des Liasschiefers.

**) Bei der Analyse dieser und anderer geschichteten Gesteine ist ebensowenig wie bei der Analyse der Massengesteine Rücksicht auf Schwefelsäure, in der Regel auch nicht auf Phosphorsäure genommen (in Bezug auf letztere siehe die Fortsetzung des Textes). Dies ist indessen wiederum natürlich kein Grund, an deren Vorhandensein zu zweifeln; das so regelmässige Auftreten dieser für das Pflanzenwachsthum wichtigen Substanzen in den Ackererden aller Art lässt folgerecht auch auf deren Dasein in den Gesteinen aller Art schliessen. Ausserdem ist zu bemerken, dass alle Meeresbildungen sich aus einem an schwefelsauren Salzen ziemlich reichen Medium abgesetzt haben und schon in Folge dessen auch wenigstens geringe Mengen derselben enthalten müssen. Der oben angeführte Liasschiefer enthielt 0,5 % Phosphorsäure und 0,1 % Schwefelsäure; vergl. Journ. f. Landw. 1867, p. 48.

***) Landw. Versuchsst. 1861, p. 105.

Meeresbildungen keine hervorragende Rolle) noch eine dritte Gruppe von ausserordentlicher Ausdehnung, deren Entstehung sich aus den bisherigen Gesichtspunkten kaum verstehen lässt, die *Kalksteine*.

In jeder der vielen auf einander folgenden geologischen Epochen finden wir unter den geschichteten Gesteinen mächtige Lager von kohlensaurem Kalk, und mächtige Gebirgstöcke bestehen fast ganz und gar aus dieser chemischen Verbindung. Die versteinerten Muscheln und viele andere petreficirten Thiere finden sich ganz vorzugsweise in diesen Schichten. Die Kreide z. B. wird ihrer ganzen Masse nach gebildet durch die wesentlich aus kohlensaurem Kalk bestehenden Schalen untergegangener kleiner Seethiere.

Wenn nun die Frage entsteht nach der Bildungsweise dieser ausgedehnten Schichten, deren Material als solches sich nicht unter den Verwitterungsprodukten jener krystallinischen Urgesteine, von denen wir alle übrigen Bildungen abzuleiten unternommen haben, befand, so ist daran zu erinnern, dass ein Theil jener krystallinischen Gesteine, nemlich die Gruppe der kiesel-eisen-kalkigen Gesteine, sich durch einen grossen Kalkreichthum auszeichnet. Dieser Kalkreichthum war zurückzuführen auf die Mineralspecies, Labrador, Augit, Hornblende, die jene Gesteine im Wesentlichen aufbauen. Ich erinnere ferner daran, dass die Verwitterung dieser Gesteinsarten unter Austritt der grösten Menge der alkalischen Erden vor sich geht, die in kohlensaure Salze übergeführt und in der mehrfachen Menge freier Kohlensäure gelöst, das verwitternde Muttergestein verlassen. In dieser gelösten Form gelangen die alkalischen Erden in Quellen, Bäche, Flüsse und, soweit sie nicht durch irgend welche chemische Aktion z. B. in Folge einer Begegnung mit kieselsaurem Alkali niedergeschlagen werden, in das Weltmeer, immer noch gelöst in dem mit freier Kohlensäure beladenen Wasser*). Wenn in dem Weltmeer früherer geologischer Epochen in Bezug auf die Verhältnisse zwischen Kalkgehalt und dem Gehalt an freier Kohlensäure nicht ganz andere und umgekehrte Verhältnisse bestanden haben wie heut zu Tage, so kann der kohlensaure Kalk nicht einfach durch Verlust der freien die Lösung bedingenden Kohlensäure niedergeschlagen worden sein, denn man hat berechnet, dass jetzt in unsern Meeren weit mehr Kohlensäure vorhanden ist, als zur Lösung des darin enthaltenen kohlensauren Kalks erforderlich wäre, obgleich wir auch jetzt noch Ursache haben, daselbst die Entstehung neuer Kalkablagerungen zu vermuthen. Allein wir kennen eine andere Thatsache, die auch unter diesen Verhältnissen die Ausscheidung von Kalkablagerungen trotz des Vorhandenseins überschüssiger Kohlensäure möglich macht, — eine Thatsache, die wahrscheinlich zur Erklärung der Entstehung der Kalkgebirge mit herangezogen werden muss. Die Schalen der Muscheln und Schnecken bestehen, wie eben erwähnt wurde und ganz allgemein bekannt ist, wesentlich aus kohlensaurem Kalk. An den Meeresküsten werden dieselben zur Darstellung von gebranntem Kalk benutzt, gerade wie im Binnenlande der Kalkfels. Die Schalthiere des Meeres bilden nun ihre Schalen im Meerwasser, also in einem Medium, das an sich lösend auf den kohlensauren Kalk wirkt; sie bringen indessen diesen kohlensauren Kalk ihrer Hülle dennoch durch eine uns unbekannte Thätigkeit zur Abscheidung und schü-

*) Oder auch durch Wechselzersetzung in Gyps oder andere lösliche Kalksalze verwandelt, worauf wir hier keine Rücksicht nehmen wollen.

tzen denselben durch Beimengung einer organischen Materie hinlänglich gegen die schwach lösenden Kräfte des Seewassers und sogar gegen einige verdünnte organische Säuren, die sonst den kohlensauren Kalk unter schwachem Brausen aufzunehmen pflegen, wovon man sich leicht überzeugen kann. In der Form von Muschelschalen können also auch heute noch sehr grosse Mengen kohlensauren Kalks zur Abscheidung*) gebracht, und so Ablagerungen bewirkt werden, wie die Kreide, die durch und durch wenigstens dem bewaffneten Auge ihren organischen Ursprung verräth. — Nun brauchen wir uns nur noch ein zweites Moment hinzukommend zu denken, das jenen Ursprung aus organisirten Resten, z. B. durch vorübergehende Lösung grossentheils verwischt, und wir haben einen compakten amorphen oder krystallinischen Kalkstein wie der, aus dem unsere Gebirge bestehen.

So kann man sich die Sache als vor sich gegangen etwa denken, oder man mag auch diese Hypothese als gewagt verwerfen, soviel steht fest, dass unter den Meeresablagerungen neben Sandsteinen und Thonen die Kalksteine eine Gruppe von hervorragender Bedeutung bilden, und dass diese Kalksteine ihrer Substanz nach auf die kalkhaltigen krystallinischen Gesteine zurückgeführt werden müssen, aus denen sie sich nur durch chemische Umformung und Verschleppung gebildet haben können.

Die Zusammensetzung einiger solcher Kalksteine ist:

	Silurkalk. (England)	Devonkalk. (Nassau)	Muschelkalk. (Schwaben)	Kreide. (Champagne)	Rogenstein. (England)
Kohlens. Kalk	90,1%	82,2%	77,9%	97,6%	95,4%
Kohlens. Magnesia	1,3%	2,1%	16,6%	0,5%	1,3%
Kieselsäure	—	9,2%	3,1%	1,1%	1,0%
Thonerde, Eisenoxyd	2,3%	5,8%	1,4%	0,6%	1,4%
Phosphorsäure	0,8%		0,1%		0,12%
		Kali, Natron	0,3%	Schwefelsäure	0,13%

Der ziemlich regelmässig gefundene, zuweilen sehr erhebliche Gehalt an Phosphorsäure**) spricht vielleicht für die Abscheidung mit Hülfe von Organismen, indessen genügten auch wohl die vorhin geltend gemachten Gründe zu dessen Erklärung. Magnesia wird in den Kalkablagerungen sehr regelmässig aber in weit auseinandergehenden Verhältnissen gefunden. Die Magnesiasalze haben einen gemeinschaftlichen geologischen Ursprung mit denen des Kalks, sie sind jedoch viel löslicher und sind in Knochen und Muschelschalen von weit beschränkterer Verwendung. Wir treffen diese Salze desshalb in grossen Mengen im Meerwasser gelöst an und viele Kalkablagerungen nur von wenig Magnesia begleitet. In manchen Kalksgesteinen vertritt jedoch die kohlensaure Magnesia einen Theil des kohlensauren Kalks, — ein Verhältniss, das wahrscheinlich erst durch sekundäre Processe zu Stande

*) Beobachtungen des Meeresgrundes von Carpenter zwischen Schottland und den Far-Oer-Inseln lehren, wie auch andere Untersuchungen der Art, dass sich noch fort und fort neue Ablagerungen von den wesentlich aus kohlensaurem Kalk bestehenden Hüllen niederer Schalthiere bilden, so dass auch noch jetzt die Entstehung der Kalksteine im Meere nach der im Texte dargelegten Weise als vor sich gehend gedacht werden muss.

**) 2% Phosphorsäure und etwas Fluor sind stets in den Muschelschalen enthalten, wie ja diese Bestandtheile in den Knochen der Wirbelthiere noch eine weit hervorragendere Rolle spielen. — Vergl. übrigens auch über den Phosphorsäuregehalt von Muschelkalk- und anderen Kalk-Böden Würtembergs: Jahresber. 1865, p. 9.

kommt, und geht Dies bis zum ungefähren Vorhandensein gleicher Aequivalente von Kalk und Magnesia, so heisst das so metamorphosirte Gebilde Dolomit. Dieses Gestein ist nun in allen Uebergängen zu Kalk vorhanden und wird jenes nicht als selbstständiges Gebirge in erheblicher Ausdehnung gefunden.

Wir haben schon früher erwähnt, dass da, wo sich im Weltmeer gewisse Bedingungen der Ablagerung vorfinden, sandige und thonige Ablagerungen sich mit einander mischen und so Gebirgsarten von intermediärem Charakter bilden. Das Gleiche findet natürlich für die Kalkablagerungen einerseits, für Sand- und Thonablagerungen anderseits statt, und man gebraucht theilweise eigene Bezeichnungen für die Gesteine solch' gemischten Charakters. *Mergel* heisst ein aus Kalk und Thon in gewissen Verhältnissen bestehendes Gemisch, und man unterscheidet dann wieder zwischen Thon-, Kalk- und Sandmergel und sogar Dolomitmergel, je nach dem Vorwiegen oder dem neuen Hinzutreten eines oder des andern Bestandtheils. Als *Lehm* wird im Allgemeinen ein sandhaltiger nicht erhärteter Thon bezeichnet.

Es wird für unsern Zweck genügen, die Analysen einiger wenigen solcher Mischlingsgesteine hier aufzuführen.

	Thonmergel *) (Schwaben)	Kalkmrgl. (Thüringen)	Dolomitmrgl. (Schwaben)	Lehm. **) (Oesterr.)	Löss. ***) (Niederrhein)
Kieselsäure (Sand)	40,7%	11,8%	32,3%	58,8%	59,0%
Thonerde	32,0%	10,6%	30,7%	19,5%	10,0%
Eisenoxyd	8,9%	1,5%	3,4%	Ḟe 9,1%	4,3%
Kohlens. Kalk	9,5%	74,1%	14,6%	—	20,2%
Kohlens. Magnesia	2,2%	0,3%	19,1%	—	4,2%
Kali	0,05%	0,1%	—	0,9%	1,1%

Man ersieht aus den Analysen deutlich, dass sich die Bezeichnungsweise der einzelnen Mergel nach dem Vorherrschen des einen oder des anderen Bestandtheils richtet. Der Loess ist jene Süsswasserbildung, von der wir in der letzten Vorlesung gesprochen haben, sie enthält viel thonige Bestandtheile, zugleich aber viel Sand, wie aus dem verhältnissmässig hohen Kieselsäuregehalt ersehen werden kann, und gleichzeitig auch kohlensauren Kalk. Wir werden sehr bald sehen, wie der kohlensaure Kalk in späteren geologischen Epochen auch an den Süsswasserbildungen Antheil nehmen kann, während es nach unsern bisherigen Kenntnissen noch befremden muss, ihn daselbst eine Rolle spielen zu sehen.

Aus den nun behandelten Gesichtspunkten lässt sich das Wesentliche der Bildung der geschichteten Gesteine sehr wohl verstehen. In jedem einzelnen Systeme dieser Meeresbildungen treffen wir von den ältesten Zeiten der silurischen Bildungen an bis zu den Ablagerungen unserer Tage die drei unterschiedenen Gesteinsgruppen und deren Mischlinge an, Thone, Sandsteine, Kalksteine und die Zwischensglieder dieser Ge-

*) Umgerechnet aus Girard's Angaben a. a. O. p. 113.

**) Dieser Lehm enthielt nur geringe Mengen von Kalk und Magnesia, doch nicht an Kohlensäure gebunden.

***) Eine Zusammenstellung von Loessanalysen verschiedener Fundorte bei Sandberger: Journ. f. Landw. Göttingen 1869. p. 216.

steine. Schichten, deren Zusammensetzung sich nicht aus dem Charakter dieser drei unterschiedenen Gruppen ergibt, sind ganz lokalen Ursachen zuzuschreiben und verdienen daher bei der Theorie der Bodenbildung keiner eingehenderen Berücksichtigung. Es sind aber hier nur beispielsweise zu nennen die Gypsablagerungen, die Kochsalzlager und dergl., deren Entstehung innerhalb der geschichteten Gebirge hier unser Interesse nicht in Anspruch nehmen darf.

Die angestellten Betrachtungen haben uns nun aber zugleich, um die Kenntniss der neuen Bodenarten bereichert, die sich von jenen ursprünglichen noch auf dem Muttergestein, aus dem sie hervorgegangen sind, aufgelagerten Bodenarten alle dadurch unterscheiden, dass sie angeschwemmte Böden sind. Wir haben unter diesen zu unterscheiden *Schutt-* oder *Geröllböden*, die wesentlich Süsswasserbildungen sind. *Thonböden* und *Sandböden*, die beide Meeres- oder Süsswasser-Bildungen sein können. Unter diesen angeschwemmten Böden, die durch den eben in's Auge gefassten Process Enstehung genommen haben, sind jedoch wohl gemerkt noch keine *Kalkböden* vorhanden, da aus Niederschlägen von kohlensaurem Kalk im Meere sich erst Kalksteine bilden können, dem Meer- und Flusswasser aber noch kein Kalkpulver, *das mechanisch angeschwemmt werden könnte*, zu Gebote steht.

Allein mit den von uns betrachteten Vorgängen haben die Veränderungen auf der Erdoberfläche ihr Ende noch nicht ereilt. Die in der Stille des Meeresgrundes abgesetzten und zu festen Gesteinen erhärteten Trümmermassen werden z. Th. innerhalb der grossen geologischen Zeiträume in die Höhe gehoben*), gleichviel durch welche mechanische Kräfte; sie werden Festland und thürmen sich zu Gebirgen von schwindelnder Höhe empor. Nun machen natürlich die rastlos fortschaffenden zerstörenden Kräfte der Atmosphäre und des seinen ewigen Kreislauf vollziehenden Wassers sich wieder geltend, und sie haben häufig nun bei der Bearbeitung der geschichteten Gebirge leichtere Mühe als bei der vorhin besprochenen Zerstörung der massigen Gesteine. Die geschichteten Gesteinsarten, obwohl mitunter von grosser Festigkeit und Widerstandsfähigkeit, lassen häufig zwischen die einzelnen Schichten Wasser eindringen und bieten so Angriffspunkte für dessen mechanische Arbeit, für die chemischen Wirkungen der gelösten Gase dar. Ob ein Gestein mehr Widerstand leistet oder weniger, das hängt natürlich auch vorzugsweise von der Beschaffenheit des die einzelnen Theilchen zusammenkittenden Bindemittels ab.

Kurz es tritt auch hier wieder Verwitterung ein. Das Bindemittel der Sandsteine, wird durch kohlensaure Wässer verändert, die Sandkörner fallen auseinander. Die Kalke werden in ihrer ganzen Masse durch dasselbe Agens angegriffen und gelöst, und ebenso können die Thone noch weitere Veränderungen, die sie mindestens ihres Zusammenhangs berauben, erfahren. Auf der zu Tage tretenden Fläche der geschichteten Gesteine bildet sich von Neuem wie bei jenen Massengesteinen eine mehr oder minder dicke Verwitterungsschicht. So ist dann wieder Veranlassung zur Bildung einiger neuen Bodenarten gegeben, die auf ihrem Muttergestein aufliegend als ursprüngliche Böden bezeichnet werden müssen, nemlich als die ursprünglichen Böden

*) Diese periodischen Hebungen sind nothwendig, um den Process der Stoffverschleppung zu einem continuirlichen zu machen, da dieser unter allen Umständen Terrain-ausgleichend wirkt.

der geschichteten Gesteine, die aber ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften nach den verschwemmten Böden weit ähnlicher sehen, denn sie sind ja mittelbar wirkliche verschwemmte Böden und die mineralischen Bodenelemente, sind in ihnen nach ihrer Aufschlämmbarkeit geordnet enthalten. Ein ursprünglicher Sandsteinboden kann einem angeschwemmten Sandboden in seinem Verhalten natürlich auf's Haar ähnlich sehen, ebenso ein Thonschieferboden, nachdem er durch die Verwitterung glücklich fein zertheilt ist, einem angeschwemmten Thonboden ähnlich werden.

Allein die so gebildete Verwitterungsschicht kann auch, wenn die Verhältnisse zur Fortspülung geeignete sind, wieder der Verschwemmung unterliegen und so neuerdings Veranlassung zu weiterer Umformung gegeben werden. Die von dem niederfallenden Regen in Bäche und Flüsse mit fortgerissenen Verwitterungsmassen werden einer ähnlichen Sonderung unterliegen, wie wir sie für die Verwitterungsprodukte der Massengesteine schon beobachtet haben. Auch jetzt werden unter Bedingungen, die von Neuem auseinanderzusetzen, unnöthige Zeitverschwendung wäre, Geröllablagerungen gebildet werden, aber Ablagerungen die nicht bloss aus unverwitterten Trümmern der Massengesteine sondern diesmal auch aus Kalk-, Sandstein- und Thonschiefer-Brocken bestehen. Die so gebildeten Schuttmassen werden nun zwar im Wesentlichen das Verhalten zeigen, wie wir es für den Geröllboden der aus den gröbsten noch unverwitterten Trümmern jener Massengesteine entstanden ist, geschildert haben; nur wird der weitere Verwitterungsprocess, der sich an diesem Geröllböden vollzieht, je nach der spezifischen Beschaffenheit seiner Bestandtheile in etwas abweichender Weise verlaufen. Aber alle die damals z. Th. angedeuteten, so ausserordentlich schädlichen physikalischen Eigenthümlichkeiten des Geröllbodens werden sich auch hier vorfinden.

Die feinere Verwitterungsmasse der geschichteten Gesteine wird dagegen weiter verschleppt werden. Die einzelnen Sandkörner, die sich nun wieder bei der Verwitterung des Sandsteins von einander trennen, die wieder erweichte und sich fein vertheilende Thonmasse des zerstörten Thonschiefers werden in die Bäche, in die Flüsse und endlich in das Meer gelangt den früher geschilderten Verschwemmungsregeln unterliegen und je nach den nun vorhandenen Ablagerungsbedingungen zur Bodenbildung oder zu einer neuen Gesteinsbildung auf dem Grunde des Weltmeers dienen. So können natürlich bei diesem neu sich vollziehenden Processe aus gut gesonderten Gesteinen Mischlingsgesteine entstehen und umgekehrt.

Was an diesem Processe dem früher für die Massengesteine in's Auge gefassten unähnlich erscheint, das ist, dass nun auch der kohlensaure Kalk als selbständiges Glied unter den durch Verschwemmung mechanisch absonderbaren Verwitterungsprodukten auftritt, während er früher nur gelöst in den kohlensäurehaltigen Wassern erscheinen konnte. Alle Flüsse, deren Quellen aus Kalkgebirgen kommen, oder die in ihrem Laufe solche Gebirge durchsetzen, führen auch fein zertheilte Kalkmassen in solcher Menge mit sich, dass die Kohlensäure des Flusswassers sie nun entfernt nicht mehr zu lösen vermag. Manche Flüsse führen einen wahren Kalksand mit sich, der ziemlich frei ist von andern Bestandtheilen und bilden dann auf ihrem gelegentlichen Ueberschwemmungsgebiete wahre Kalksandböden, die wenn sie aus unruhigem Wasser abgesetzt worden sind, wegen des Mangels an andern Bestandtheilen von

grosser Unfruchtbarkeit sein können. Die Aufschlämmbarkeit der feinen Kalktheilchen, welche jene Flüsse mit sich führen, ist eine sehr verschiedene, da der Kalk wegen seiner leichten Zerreiblichkeit sehr verschiedene Korngrössen annimmt. — Das spezifische Gewicht des Kalkspaths ist dem des Quarzes annähernd gleich. — So sehen wir denn den zerkleinerten Kalk je nach der Feinheit seiner Theilchen und nach den Ablagerungsbedingungen mit dem Quarzsande zusammen neue Böden und Gesteine, noch häufiger aber mit thonigen Theilen zusammen eigentliche Mergel bilden. Oft treten auch alle drei Elemente gleichzeitig auf, wie bei der schon erwähnten Loessbildung des Rheines und vieler anderen Flüsse. Daraus geht hervor, dass die feineren Kalktheilchen den Thontheilchen an Aufschlämmbarkeit nahe kommen und wenn man in der That z. B. die aufgeschlämmten Theile des ziemlich klar erscheinenden Rheinwassers heute untersucht, so findet man neben thonigen Bestandtheilen etwa ein Drittel kohlensauren Kalkes.

Ihrer *rein mineralischen* Beschaffenheit nach können unseren Auseinandersetzungen gemäss sämmtliche Böden etwa in folgende Klassen und Arten eingetheilt werden:

I. *Ursprüngliche Böden*; d. h. solche die auf ihrem Muttergestein noch aufgelagert sind.

A. *Entstanden aus einem krystallinischen Massengesteine.*

1. *Feldspathböden* (aus Granit, Porphyr, Trachyt etc.)
2. *Augit-* und *Hornblende-Böden* (aus Basalt, Dolerit, Melaphyr etc.)
3. *Glimmerböden* (aus Glimmerschiefer, Gneiss)

B. *Entstanden aus einem geschichteten Gesteine.*

4. *Sandsteinböden* (aus den verschiedenen Sandsteinen.)
5. *Thonböden* (aus Thonschiefer, Schieferthon etc.)
6. *Kalkböden* (aus Kalksteinen, Kreide, Dolomit etc.)

II. *Verschwemmte Böden*; d. h. solche, die nicht mehr auf ihrem Muttergestein aufgelagert sind.

7. *Schutt-* und *Kiesböden* (aus allen möglichen Gesteinen).
8. *Sandböden.*
9. *Thonböden.*
10. *Lehmböden* (die Elemente der beiden letzteren Böden vermischt enthaltend).
11. *Kalkböden* (kommen verschwemmt nur selten in grosser Reinheit vor).
12. *Mergelböden* (Kalk und Thon vermischt enthaltend).

Eine solche Eintheilung kann der Natur der Sache nach nicht all' den Mannigfaltigkeiten der Wirklichkeit Rechnung tragen. Viele in der Natur vorkommenden Bodenarten sind natürlich als Uebergangsglieder der hier aufgezählten anzusehen und finden als solche keine Stelle in einem derartigen System. Dieses bezweckt ja Nichts, als den Ueberblick über die Verschiedenheiten der realen Aussenwelt zu erleichtern.

Um die feinern Nuancen zu bezeichnen, welche sich in der Natur unbekümmert um jede Eintheilung vorfinden, hat man nun noch eine Menge von Namen gebildet, deren Bedeutung indessen fast selbstverständlich erscheint. Wir finden solche weitere intermediäre Unterabtheilungen zumal bei den verschwemmten Böden, die der Natur ihrer Enstehung nach in allen denkbaren Mischungen auftreten.

Den *Sandboden* kann man z. B. je nach der Grösse seines Korns eintheilen in *Flugsand, Quellsand*, *Perlsand* u. s. w., je nach dem Materiale, aus dem die einzelnen Körner oder ein Theil derselben bestehen, in *Glimmersand*, *Feldspathsand, (Kalksand)* u. s. w., je nach der Mischung mit anderen Bodenarten wird er bezeichnet als *lehmiger, mergeliger, kiesiger Sandboden.*

Nach demselben Princip wird der *Lehmboden* zum *sandigen*, *mergeligen kalkigen Lehmboden,* der *Mergelboden* zum *sandigen*, *lehmigen*, *kalkigen* u. s. f.

Man hat sich vielfach über diese Bezeichnungen zu einigen gesucht und dann einen ganz bestimmten Procentsatz für die einzelnen Bodenbestandtheile angegeben, von dem an der eine oder andere Name gelten sollte. Für unsern Zweck hat es keinen Sinn, auf diese Terminologie weiter einzugehen.

Es ist ferner auf den praktischen Nutzen der in unserer Eintheilung gemachten Unterscheidung zwischen ursprünglichen und verschwemmten Böden aufmerksam zu machen, um so mehr, da ich früher die Bemerkung gemacht habe, dass ein ursprünglicher Kalkstein-, Sandstein- oder Thonschiefer-Boden einem verschwemmten Kalk-, Sand- oder Thonboden ganz und gar ähnlich sehen kann, wie denn im Grunde die Entstehungsart beider ganz die gleiche und nur eine direktere oder indirektere ist. — Allein es ist nicht ausser Augen zu lassen, dass die Gleichartigkeit nur für eine gewisse Tiefe besteht, dass nemlich bei einem ursprünglichen Boden die unter der Ackererde liegende Schicht aus genau demselben Materiale besteht, aus dem diese Erde selbst vor einiger Zeit noch ausschliesslich bestand, ehe Verwitterung, Pflanzenwachsthum und vielleicht Kultur an ihr einen Verwandlungsprocess vollzogen, — dass dagegen bei einem verschwemmten Boden jener Untergrund von einer in Bezug auf die zu Tage liegende Schicht rein zufälligen Beschaffenheit ist. Daraus folgt der praktisch wichtige Anhaltspunkt, dass es bei einem ursprünglichen Boden ganz allgemein gelingen muss, durch allmälige Vertiefung der Ackererde wieder dieselben Stoffe in derselben chemischen Form für die Pflanzenwurzel zugänglich zu machen, welche schon vorher in der Ackererde vorhanden waren, während sich Etwas Derartiges für die verschwemmten Böden nicht ohne vorhergehende Specialuntersuchung schliessen lässt. Ganz Dasselbe gilt dann natürlich auch für die physikalischen Eigenschaften des Untergrunds, und bei den verschwemmten Böden ist es z. B. eine allbekannte Erfahrung, dass sie häufig durch eine ganz abweichende physikalische Beschaffenheit des Untergrunds, namentlich grosse oder sehr geringe Durchlässigkeit*) ganz spezifische Eigenthümlichkeiten dem Pflanzenwachsthum gegenüber zeigen, — Zustände, welche bei ursprünglichen Böden trotz noch so grosser mechanischer Verschiedenheit der Ackerkrume und des Untergrunds niemals in dem Grade eintreten können.

Es scheint mir hier schon der richtige Ort zu sein, der gewöhnlichsten Methoden Erwähnung zu thun, durch welche man sich im Allgemeinen von der Zusammensetzung der Bodenarten, soweit diese für die eben angeführte und ihrem Sinn und Nutzen nach erläuterte Klassificirung in Betracht kommen, Kenntniss verschafft. Dies kann nemlich nicht, wenigstens nicht bis zu den feineren Unterschieden herab,

---

*) Vergl. die einunddreissigste Vorlesung.

durch das Auge und die Luppe allein geschehen, wenn auch die Methoden, welche hiezu dienen, ziemlich rohe sind. — Dieselben sind z. Th. chemischer z. Th. mechanischer Natur.

Die erste hierhin gehörige mechanische Operation, die man vorzunehmen pflegt, besteht in einem einfachen Trennen der verschieden grossen Bodentheilchen durch Siebsätze, und zwar hat man gewisse Siebweiten gemeinsam adoptirt, um die von verschiedenen Untersuchern erlangten Resultate auf einander beziehen zu können.

Man lässt die gesammte zu untersuchende Erde durch ein Sieb von 3 Millimeter Weite hindurchgehen und bezeichnet das Durchgesiebte als *Feinerde*. Die auf dem Siebe zurückbleibenden Steine werden zunächst in ihrem Gewichtsverhältniss zur Feinerde, dann hinsichtlich ihrer Grösse bestimmt d. h. ermittelt, wie viel Steine in Wallnussgrösse, Haselnussgrösse, Erbsengrösse etc. vorhanden sind*), und wieviel eine jede Sorte zusammen wiegt. Die Steine werden dann einer mineralogischen Prüfung unterworfen, und namentlich durch diese gelangt man sehr schnell zur Klarheit, ob man es mit ursprünglichen Böden und mit Böden welcher Gebirgsart angehörig man es zu thun hat. Sind diese Steine stark abgerundet oder verschiedenen geognostischen Ursprungs, so hat man es mit einem verschwemmten Boden zu thun und je grösser ihre Anzahl im Verhältniss zur Feinerde, um so mehr nähert derselbe sich einem Kies- oder Geröllboden.

Die Feinerde, welche im Wesentlichen das chemische Verwitterungsmaterial, daneben eine Anzahl unverwitterter einfacher Mineralien, aber keine eigentlichen Gesteinstrümmer mehr enthält, wird dann weiteren chemischen und mechanischen Trennungs- und Bestimmungsmethoden unterworfen. Um sich von der Anwesenheit oder Abwesenheit von kohlensaurem Kalk zu überzeugen, wird die Erde mit Säuren behandelt und zugesehen, ob Aufbrausen (in Folge der entweichenden Kohlensäure) stattfindet. In diesem Falle hat man es mit einer kalkhaltigen Erde zu thun, da mit Ausnahme der Magnesia, welche ja immer nur mit dem Kalke gleichzeitig im Boden aufzutreten pflegt, keine andere Base in erheblichen Mengen an Kohlensäure gebunden im Boden gefunden wird. Will man sich aber nicht blos qualitativ von dem Kalkgehalt einer Bodenart überzeugen, sondern auch wissen, wieviel von diesem Bestandtheil im Boden vorhanden ist, so bestimmt man entweder die Kohlensäure einfach durch Gewichtsverlust in einem einfachen, mit einem Chlorkalciumrohr versehenen Kohlensäureapparat, oder man ermittelt deren Menge in einem eigens für diesen Zweck construirten kleinen Apparat, aus dem eine dem Volum der entweichenden Kohlensäure entsprechende Flüssigkeitsmenge in Folge des von jener erzeugten Druckes austritt, welche in einem andern Gefässe gemessen wird, woraus man dann die entwichene Kohlensäure annähernd berechnen kann. Beide Methoden ermöglichen es, sich sehr rasch über den Kalkgehalt eines Bodens Aufschluss zu verschaffen und sind reichlich genau genug, um darauf die Bestimmung der Bodenart zu basiren.

Neben dem etwa vorhandenen Kalk ist es vor Allem nothwendig, um jene Klassification vorzunehmen, eine Kenntniss von dem Verhältniss zwischen Sand und Thon zu erhalten. Hierzu werden zweckmässiger Weise nicht chemische Mittel, sondern rein mechanische benutzt. Ich brauche nur an jene für beide Boden-

*) Was zweckmässig auch durch Siebe geschieht.

elemente naturgemäss verschiedene mechanische Beschaffenheit zu erinnern, auf die wir bei unsern Betrachtungen über die Entstehung sekundärer Ablagerungen, die Verschiedenheit der sich so bildenden Gesteins- und Boden-Arten hauptsächlich zurückgeführt haben, — ich meine die so verschieden grosse Aufschlämmbarkeit jener beiden Bodenelemente. Diese verschiedene Aufschlämmbarkeit, welche wir desshalb als eine naturgemässe bezeichnet haben, weil der Thon als Produkt einer, allen ursprünglichen Zusammenhang zerstörenden chemischen Umwandlung aus sehr feinen Theilchen besteht, während jedes Sandkorn für sich noch als unveränderter Rest des ursprünglichen krystallinischen Gesteins zu betrachten ist, und weil die Grösse der einzelnen Theilchen fast ganz ausschliesslich deren Aufschlämmbarkeit bestimmt, ist nun auch bei der Methode der mechanischen Trennung der verschiedenartigen Bodentheilchen benutzt worden; — man ist bei der Erfindung dieser Methode bei der Natur in die Schule gegangen, und hat sie ihr geradezu abgesehen.

Wenn man eine Feinerde in einer Glasröhre so lange mit Wasser schüttelt, bis sich alle einzelnen Erdtheilchen, die in dem natürlichen Zustande vielfach zu klumpigen Massen zusammengebacken sind, genügend zertheilt haben und mit dem Wasser aufgeschlämmt sind, und jene dann vertical aufgestellt der Ruhe überlässt, so sinken die schwer aufschlämmbarsten Erdtheilchen zuerst nieder, später erst bei grösserer Ruhe des Wassers die feinern, leicht suspensiblen Theilchen, so dass sich deutlich unterscheidbare Schichten bilden von grobem, dann immer feinerem Sand und den obenaufliegenden Thontheilchen, während die Kalktheilchen, je nach ihrer sehr verschieden grossen Feinheit, mehr dem einen oder dem andern Bodenelemente sich beigemischt zeigen. Eine Methode der sogenannten Schlämmanalyse besteht nun in Nichts Anderem, als in der Ausführung der eben beschriebenen Manipulation und in der Messung der Dicken der einzelnen abgesetzten Schichten, und man bekommt auf diese Weise schon einen ziemlich brauchbaren Blick über die Constitution der der Operation unterworfenen Feinerde.

Die Schlämmanalyse hat aber eine sehr viel weitergehende Ausbildung erlangt, so dass es möglich wurde, die Bodentheilchen von verschiedener Suspensibilität nicht blos sehr vollständig von einander zu trennen, sondern auch die Masse der Theilchen jeder Sorte genau dem Gewichte nach zu bestimmen und ausserdem dieselben getrennt chemischen Operationen zu unterwerfen. Die Apparate, mittelst deren eine solche genaue Trennung gelingt, sind sehr verschiedener Natur, aber von leicht verständlicher Construction. Ich will mich hier darauf beschränken, von dem gebräuchlichsten dieser Apparate, von dem Nöbel'schen einige Worte zu sagen, hinsichtlich der übrigen auf andere Orte verweisend.*) Der Nöbel'sche Apparat**) besteht im Wesentlichen aus 4 trichterförmigen, mit einander durch Kautschukröhren verbundenen Gefässen, deren Volumen annähernd sich wie 1 : 8 : 27 : 64, d. i. wie $1^3 : 2^3 : 3^3 : 4^3$ verhält, durch welche ein gleichmässiger Wasserstrom hindurch getrieben wird.***) Die Erde wird vor Beginn der Operation durch allerlei

*) Vergl. z. B. den Bericht der Agrikuturchemiker-Versammlung vom Jahre 1869 in Halle, wo viel von der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Apparate die Rede war.

**) Vergl. E. Wolff: Anleitung zur chem. Untersuchung, 1867, p. 5, Anmerk.

***) Ueber die Handhabung dieses Apparates vergl. E. Wolff: Landw. Versuchsst. 1866, p. 408.

Vorbereitungen fein zertheilt; am Besten kocht man dieselbe eine Zeit lang mit Wasser und unterstützt die Loslösung der zusammengebackenen Theilchen von einander durch Rühren etc. Bei den üblichen Dimensionen des Apparates *) bringt man 30 Gramm der so vorbereiteten und durch ein Blechsieb mit Löchern von 1 Millimeter Weite im aufgeschlämmten Zustand gesiebten Erde in das zweitkleinste jener Gefässe und lässt das Wasser von Unten durch das kleinste Gefäss eintreten. Der Wasserstrom wird so regulirt, dass die 9 Litres, welche überhaupt zu einer Operation benutzt werden, in 40 Minuten den ganzen Apparat durchströmen. Man hat nach der Beendigung der Operation die Feinerde in mindestens 5, ihrer Aufschlämmbarkeit nach sehr verschiedene Portionen zertheilt, nemlich:

1. in den auf dem Blechsieb verbleibenden Rückstand,
2. in die durch das Wasser nicht mit fortgeführte Masse des zweitkleinsten Gefässes,
3. in die durch das Wasser mit fortgerissenen Theilchen von geringer Suspensiblität, welche sich im drittkleinsten Gefässe ansammeln,
4. in die Schlämmmasse von hoher Suspensiblität im grössten Gefässe,
5. in die Schlämmmasse von grösster Suspensiblität, die auch im grössten Gefässe sich nicht niedergesetzt hat und im abgelaufenen Wasser zu suchen ist.

Man sieht, das Princip dieses Apparates ist genau dasselbe wie jenes einfacheren, nur die Trennung der einzelnen Bodentheilchen eine vollkommnere, die es gestattet, genau anzugeben, wieviel von jeder Gruppe vorhanden ist, und weitere Untersuchungen der Schlämmmasse gestattet. Wenn man nun die einzelnen Massen in der vorhin angegebenen Weise auf ihren Kalkgehalt untersucht, namentlich also prüft, bei welcher Gruppe der etwa vorhandene Kalk geblieben ist, so hat man mittelst dieser verschiedenen Methoden alle Daten zur Charakterisirung des Bodens in der Hand. Man wird in sehr genauer Weise den Thongehalt eines jenen Operationen unterworfenen Bodens angeben können, ebenso den Sandgehalt desselben, und wird entscheiden können, ob dieser Sand ausschliesslich Quarzsand ist, oder ihm Kalksand beigemischt ist u. s. w. Kurz es ist leicht einzusehen, dass es so gelingen muss, besser als durch die rein chemische Bodenanalyse, eine Ackererde ihrer Constitution nach völlig zu charakterisiren.

Hiermit ist dann freilich — und darüber werden wir in einer der nächsten Vorlesungen ausführlich zu sprechen haben — noch durchaus nicht das Verhalten eines Bodens der Vegetation gegenüber in jeder Hinsicht ermittelt, und namentlich kann der hier als Thon bezeichnete Bestandtheil seiner näheren Zusammensetzung und seinem Gehalt an pflanzlichen Nährstoffen nach noch unendlich verschieden sein, und darum können zwei in Bezug auf die Verhältnisse von gröberen Trümmern, Sand, Kalk und Thon gleich constituirte Böden sehr verschieden fruchtbar sein, wenn auch hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften zweier solcher Böden keine erheblichen Unterschiede stattfinden werden.

Der eben besprochenen einfachen analytischen Methoden wurde hier nur Erwähnung gethan, weil sie ein Mittel abgeben zur Einreihung einzelner Bodenarten in die erwähnten Klassen. Um eine genügende Vorstellung zu erhalten von dem

---

*) Zu beziehen bei W. J. Rohrbeck in Berlin.

Einfluss, den verschiedene Bodenarten auf das Pflanzenwachsthum ausüben, müssen wir noch von einer grossen Reihe der allerverschiedensten Bodeneigenschaften handeln, was in der achtundzwanzigsten bis einunddreissigsten Vorlesung geschehen soll.

Es möge mir im Anschluss an den eben behandelten Gegenstand schliesslich noch gestattet sein, unserer Aufgabe einen Schritt vorauszueilen und ein Wort von der einfachen, beinahe selbstverständlichen Ermittelung der organischen Bestandtheile im Boden zu sagen, von welchen Stoffen wir in unserer nächsten Betrachtung erkennen werden, dass sie Eigenschaften und Zusammensetzung der Erden bedeutend zu alteriren vermögen, und dass sie desshalb als ein weiteres Klassificirungsprincip zu den bisher beachteten hinzutreten. Die zu dieser Ermittelung verwendete einfache Methode basirt auf der Verbrennlichkeit der organischen Bestandtheile und der Flüchtigkeit ihrer Verbrennungsprodukte. Die bei 100° getrocknete Feinerde wird bis zum Verschwinden der organischen Reste geglüht und der Gewichtsverlust bestimmt, dieser geradezu als organische Substanz oder Humus bezeichnet, obwohl man bei dieser Kalkulation in den meisten Fällen wegen Verlustes von Hydratwasser einen nicht ganz unbedeutenden Fehler begeht. Dieselbe Operation kann man natürlich auch für die fraktionirten Schlämmmassen anwenden, um über die Feinheit der humosen Massen ein Urtheil zu bekommen und Fehler bei der Bestimmung der übrigen Bodenelemente durch Abschlämmung zu vermeiden. In manchen Fällen und namentlich, wenn es sich darum handelt, eine genauere Vorstellung von der chemischen Beschaffenheit der organischen Gemengtheile einer Ackererde zu erhalten, kann es angezeigt sein, ausser der Bestimmung des Glühverlusts auch noch eine Kohlenstoffbestimmung nach der gewöhnlichen Methode der organischen Elementaranalyse vorzunehmen, wodurch dann auch der Fehler, der durch Entweichen von Hydratwasser sonst entsteht, einiger Massen verringert wird.

Siebenundzwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Veränderungen der Bodeneigenschaften in Folge des Pflanzenwuchses.

In unsern bisherigen Darstellungen haben wir einen Ueberblick gewonnen über drei Momente, die für die Zusammensetzung und die Eigenschaften eines Bodens von hervorragender Bedeutung sind. Es waren Dies *die ursprüngliche Beschaffenheit und Zusammensetzung der Gebirgsart*, aus deren Zerstörung die Ackererde resultirt, *Art* und *Intensität der Verwitterungsprocesse*, die ein solches Gestein durchmachen musste, um zur betreffenden Ackererde zu werden und endlich die *Verschwemmung und die andern mechanischen Trennungsprocesse*, denen die Verwitterungsprodukte unterworfen waren, bis sie sich zu der betreffenden Ackererde gruppirten.

Diese drei Momente waren es auch wesentlich, welche sich wieder in der bis jetzt gegebenen systematischen Zusammenstellung der einzelnen Bodenarten spiegelten.

Wir haben aber schon zu Eingang der Betrachtungen über die Entstehung der Ackererde hervorgehoben, dass mit fast ausnahmsloser Regelmässigkeit sich noch andere Momente, als diese rein geologischen an der Entstehung der Ackererde betheiligen, und haben bereits angedeutet, worin diese weiteren Momente bestehen. Es musste zwar zugegeben werden, dass die auf die bisher erläuterte Weise entstandene oberflächliche Erdschicht nicht schlechthin unfähig ist, Pflanzen zu tragen, denn wie könnte alsdann eine Occupation von bis dahin unbewachsenem Terrain durch die Pflanzenwelt vorgenommen werden, oder wie sollten wir uns alsdann den Beginn des Pflanzenlebens auf der Kruste unseres erkalteten Planeten denken? — Allein nichtsdestoweniger ist die Behauptung leicht zu vertheidigen, dass eine für unsere anspruchsvolleren Gewächse wirklich fruchtbare Ackererde ganz ausnahmslos sich noch in manchen Stücken von dem in der beschriebenen Weise durch chemische und physikalische Processe gebildeten Boden unterscheidet, und so haben wir neben den bis jetzt betrachteten Momenten der Entstehung der Ackerkrume noch ein weiteres, das *der Einwirkung des Pflanzenwachsthums* auf den Verlauf dieser Bildung zu betrachten.

Fast alle die aus den bisherigen Gesichtspunkten in ihren Eigenschaften abzuleitenden Böden bieten der Pflanzenwelt zwar unter Umständen die ihr nöthigen Aschenbestandtheile in Hülle und Fülle dar, aber es fehlt durchgehends an der gehörigen Menge von für das üppige Gedeihen vieler, namentlich der Kulturgewächse nothwendigen stickstoffhaltigen Nahrungsmitteln; es fehlt ferner an einer Anzahl leichter entbehrlicher, aber doch sehr förderlicher Vegetationsbedingungen, die in der folgenden Darstellung aufgezählt werden sollen. — Um absolut unentbehrliche Bedingungen für das Gedeihen aller einzelnen Glieder der ganzen Pflanzenwelt kann es sich hier selbstverständlich nicht handeln, denn niemals wäre es begreiflich, wie dann die Pflanzenwelt überhaupt auf der Erdoberfläche hätte Fuss fassen können, da jede Vegetation schon das Vorhandensein einer andern voraussetzen würde, wohl aber für das gedeihliche Wachsthum einzelner Gruppen sehr nützliche. Es muss eben hier wieder an jene Pionire der Pflanzenwelt auf unwirthlichem Terrain, an die Flechten und Algen und unter den höhern Pflanzen an jene genügsame Krüppelföhre, an Ginster und Haidekraut und dergleichen*) erinnert werden, die die Besitzergreifung neuer, von Organismen bis dahin unbewohnten Territorien ermöglichen.

Die Einflüsse, welche die Vegetation und die sich an dieselbe anknüpfenden Erscheinungen auf Eigenschaften und Zusammensetzung des Bodens ausüben, lassen sich wieder unter mehrere Gesichtspunkte bringen. Es werden zuerst die Einwirkungen betrachtet werden können, welche die *Pflanzenwelt auf die Bodenbildung durch Beförderung der Verwitterungserscheinungen ausübt,* dann wird auf das *Hinderniss* aufmerksam zu machen sein, welches *die Pflanzenwelt einer Verschleppung der einmal gebildeten Verwitterungsschicht entgegensetzt,* und zuletzt

*) Uebrigens machen auch die meisten Waldbäume wenig Ansprüche an pflanzliche Ueberreste im Boden, und desshalb werden zweckmässig bis dahin wüste Ländereien durch vorübergehende Waldkultur in Besitz genommen.

werden dann *die Folgen der Einverleibung der Pflanzensubstanz,* die ihren Elementen nach vorzugsweise von Aussen stammt, *für die Eigenschaften der Ackererde* Besprechung finden.

Wir haben früher gesehen, dass der Wurzel der Pflanze nicht blos die passive Thätigkeit der Aufnahme derjenigen Stoffe, die im Bodenwasser gelöst enthalten sind, zukommt, sondern ausserdem die aktive Fähigkeit, ungelöste Substanzen, die mit den feinsten Wurzelverzweigungen in unmittelbare Berührung kommen, in Lösung überzuführen und in sich aufzunehmen. Es müssen auch unter Umständen saure Wurzelausscheidungen, wenigstens Ausgabe von Kohlensäure, namentlich in anorganischen verwesenden Stoffen armem Boden für möglich erachtet werden, so dass durch die Vegetation selbst ein die Verwitterung hauptsächlich veranlassendes Medium in den Boden gelangt, und so Stoffe in Lösung übergeführt werden, *) die nicht sammt und sonders direkt von den wachsenden Pflanzen assimilirt zu werden brauchen. **)

Daneben sind rein mechanische Wirkungen zu unterscheiden. Die Wurzeln verzweigen sich im Boden und dringen in alle weicheren Theile desselben ein, unter Anderem auch in die Ritzen und Spalten der noch unvollkommen zertrümmerten Felsunterlage. Dieselben zeigen aber natürlich auch ein Dickenwachsthum, wobei sie dieser Volumzunahme in den Weg tretende Hindernisse mit grosser Kraft beseitigen. So kommt es, dass die sich durch Wachsthum ausdehnenden Wurzeläste häufig eine Felsspalte, in die sie in ihrem jugendlichen Zustande mit Leichtigkeit eingedrungen sind, ihrem Querschnitt nach ganz erfüllen und später mächtig zu erweitern streben, genau wie Dies das gefrierende Wasser thut. Die Wirkung ist in der That dieselbe; die Felsstücke werden in ihrem Zusammenhang mit andern gelockert und weiteren Verwitterungsmomenten zugänglich gemacht. Man hat an Bergwänden und in Hohlwegen sehr häufig Gelegenheit, diese Wirkung zu beobachten.

*) Dietrich hat Versuche angestellt, durch welche direkt die durch eine Reihe von Pflanzen aus bestimmten Felsarten in Lösung gebrachten Mineralstoffe bestimmt wurden. Er fand, dass

	aus Buntsandstein,	aus Basalt
3 Lupinenpflanzen	0,608 Gr.	0,749 Gr.
3 Erbsen „	0,481 „	0,713 „
20 Spörgel „	0,268 „	0,365 „
10 Buchweizenpflanzen	0,232 „	0,327 „
4 Wicken „	0,221 „	0,251 „
8 Weizen „	0,027 „	0,196 „
8 Roggen „	0,014 „	0,132 „

Mineralsubstanz in Lösung übergeführt hatten.

**) Eine ähnliche Wirkung der Wurzel und ihrer Ausscheidungen ist auch für organische Substanzen durch Versuche nachgewiesen worden. Gazzeri und Taddei fanden, dass Hornspähne, coagulirtes Eiweiss, Elfenbeinspähne in Blumentöpfen, in welchen Pflanzen wuchsen, rascher verschwanden, als in vegetationsleeren — ein Vorgang, der jedenfalls auf ganz ähnliche Gesichtspunkte zurückgeführt werden muss, als das raschere Verwittern mineralischer Bestandtheile unter den gleichen Verhältnissen. Vgl. über diese Versuche Mulder: Chemie d. Ackerkrume. Berlin 1863. II. p. 61.

Ueber den Einfluss der Pflanzenwurzel auf die Verwitterung vergl. auch R. Hoffmann: Ackerbauchemie etc. 1866. p. 20.

Sehr leicht nachzuweisen sind die wichtigen Hindernisse, welche das Pflanzenwachsthum der Verschleppung der Verwitterungsschicht durch das abfliessende Wasser entgegensetzt. Wir haben früher genau besprochen, wie diese Verschleppung zu Stande kommt und auf diesen Vorgang mittelbar oder unmittelbar die Bildung aller der Bodenarten basirt, die nicht ursprüngliche und aus einem der Massengesteine entstanden sind. Diese Verschleppung ist trotz der Mitwirkung dieses Vorgangs bei der ersten Bildung der grössten Anzahl von Bodenarten in den meisten Fällen für die Zwecke der Kultur Nichts weniger als ein willkommener Vorgang. Alle hochgelegenen und nahe an abschüssigen Stellen befindlichen Gesteinsoberflächen würden niemals eine für ein erhebliches Pflanzenwachsthum genügende Verwitterungschicht auf sich ansammeln können, wenn der Platzregen und die rasch abfliessenden Wassermassen nach Belieben schalten und walten könnten. Diese würden nothwendig stets wieder von Neuem Alles nicht niet- und nagelfeste hinwegführen, und die rasch fortschreitendste Verwitterung würde gleichsam umsonst gearbeitet haben, und überall der blankgewaschene Fels zu Tage treten.

Diese in vielen Fällen für den Pflanzenbau völlig verderbliche Beweglichkeit der Verwitterungsmasse und der fertigen Ackerkrume wird nun durch einen Bestand mit Pflanzen in äusserst wirksamer Weise verhindert. Es ist Jedermanns Erfahrung leicht zugänglich, dass ein mit einer Rasenschicht bedeckter Damm einem Wasseranprall Widerstand zu leisten vermag, dessen Wucht ein ebenso fester aber Vegetations-leerer Damm unfehlbar erlegen wäre, und man macht bekanntlich von dieser Erfahrung an Meeresküsten und Flussufern die ausgedehnteste Anwendung. Die Thatsache erklärt sich einfach aus der feinverzweigten Bewurzelung der Grasgewächse, wodurch gleichsam ein jedes Bodentheilchen festgehalten und eine innige Verfilzung der ganzen oberflächlichen Bodenschicht hervorgerufen wird. In der That leisten fest verflochtene Gewebe, Weidengeflecht und dergleichen, womit man Dämme vor dem Andrang der Fluthen schützt, ganz Etwas Aehnliches.

Eine ganz analoge, nur etwas complicirtere Rolle spielt der Pflanzenwuchs und in Sonderheit der Wald auf unsern Gebirgen, wo die Gefahr für ein stetiges Wegspülen der dünnen Verwitterungsschicht eine sehr dringliche ist. Ein guter Waldboden, der mit Pflanzenresten aller Art und einer üppigen Moosvegetation bedeckt ist, verhält sich einem Schwamm nicht unähnlich,*) denn er vermag in der Regenzeit grosse Wassermengen in sich aufzunehmen, die er nur langsam fliessen lässt. — Ich rede hier nicht von den Vortheilen, die eine solche Aufspeicherung von Wasser für die Wasserversorgung der Bäume selbst hat, sondern nur von den Abänderungen, die das geschilderte Verhalten auf den Abfluss des gefallenen Wassers und die Wirkungen desselben ausübt. Einmal wird die Macht des niederstürzenden Regens schon durch die oberirdischen Pflanzentheile,**) namentlich die dichten Kronen der Bäume sehr wesentlich gemindert, — ein Vortheil für das Bestehen des Bodens, der

*) Ueber die Bedeutung der abgefallenen Blätter für das Verhalten eines Waldbodens dem Wasser gegenüber vergl. unter Anderem Krutzsch: Chem. Ackerm. 1863. p. 15 u. f.

**) Regenmesser, in einem jungen Fichtenbestande aufgestellt, lehrten, dass von der auf einen solchen Wald fallenden Regenmenge je nach den Monaten nur 17—32% Wasser direkt auf den Boden des Waldes gelangen; vergl. Krutzsch ebenda p. 16, 17.

auf der Hand liegt, — und dann wird der Boden gegen die Wirkung des an den Bergwänden herniederrieselnden Wasser durch den Bestand mit niedrigen Pflanzen, deren Wurzeln sich mannigfach verfilzen, und durch die Baumwurzeln natürlich auch kräftig geschützt.

Der wichtigste Schutz aber, den der Wald der Ackerkrume gewährt, ist darin zu suchen, dass er in der eben angedeuteten Weise den langsamen Abfluss des gefallenen Wassers in die Thäler bewirkt. Von unbewaldeten Höhen stürzt der ebenniedergefallene Regen fast unmittelbar in reissenden Bächen in die Schluchten herab, reisst auf seinem Lauf die durch Verwitterung gebildete Schicht mit sich fort und erzeugt in den Flussthälern schnell anwachsende und ebenso schnell wieder verschwindende Ueberschwemmungen. Bei diesem stürmischen Niederstürzen des Wassers gelangt nun auch der mit fortgerissene Boden des Gebirgs in den Thälern nicht zur Ablagerung, sondern diese werden mit unfruchtbarem Schutte überführt, so dass zugleich Berg und Thal eines unentbehrlichen Theils seiner Vegetationsbedingungen beraubt wird. Rasch ansteigende und verwüstende Ueberschwemmungen mit den eben geschilderten Wirkungen einerseits, grosse Trockniss der Flussthäler in der regenlosen Jahreszeit andererseits, Dies sind die unausbleiblichen Folgen der mangelnden Waldungen im Gebirge, während ein üppiger Waldbestand auf den Höhen dem Abfluss des Wassers mit einem Male alle diese Schrecknisse nimmt und nur dessen Wohlthaten empfinden lässt. Dieser bewirkt, dass der Abfluss langsam vor sich geht, auch bis in die trockne Jahreszeit vorhält, und aus diesem Grunde hauptsächlich sehen wir in Deutschland unterhalb unserer bewaldeten Höhen lachende Wiesenthäler, während wir in Oberitalien und vielen Gegenden Frankreichs mit Trümmermassen überdeckten Ueberschwemmungsgebieten statt eines Flussbettes begegnen, zwischen denen wir Mühe haben, ein dünnes Bächlein zu entdecken. Dies ist einer jener Gesichtspunkte, auf die sich der sogenannte Einfluss der Wälder auf das Klima *) zurückführen lässt.

Was in praktischer Hinsicht namentlich in Bezug auf die geschilderte Wirkung der Bewaldung der Gebirge hervorgehoben zu werden verdient und auch genugsam hervorgehoben wird, ist, dass die einmal durch irgend einen wirthschaftlichen Missgriff vorgenommene Entwaldung nicht wieder nach Belieben corrigirt werden kann.

*) Wir haben schon in der vierundzwanzigsten Vorlesung (pag. 6) angedeutet, dass die Wälder nicht blos einen Einfluss auf den Abfluss der gefallenen Niederschläge, sondern auch einen solchen auf die Menge derselben, wie überhaupt auf eine Reihe von klimatischen Verhältnissen, welche wir den Vegetationsbedingungen des Bodens gegenüber als rein atmosphärische Vegetationsbedingungen zu bezeichnen haben, ausüben. Dieser wirklich direkte Einfluss der Bewaldung auf das Klima ist aber nach den verdienstvollen Zusammenstellungen **Schleidens** (vergl. dessen: Für Baum und Wald, 1870) kein einfacher in einem Wort zusammenfassbarer, sondern je nach dem schon vorhandenen Waldbestand, nach Hauptwindrichtung für ein Land ein Temperatur-erhöhender oder -erniedrigender und nur constant ein Feuchtigkeits-vermehrender. Mit diesem haben wir es aber im Texte nicht zu thun, und würde übrigens schon der dort geltend gemachte Einfluss der Wälder auf den Wasserablauf auch bei Infragestellung jenes andern als Grundlage einer streng conservativen Forstpolitik und zur Rechtfertigung der in dieser Hinsicht üblichen staatlichen Eingriffe in die Privat- und Gemeinde-Wirthschaft genügen.

da, wie wir gesehen haben, das eigenthümliche Verhältniss besteht, dass der Bestand dieser Vegetation nothwendig ist zur Herstellung der Bedingungen, die zu ihrer weiteren Ausbreitung unerlässlich erscheint. Diese Andeutung mag hier genügen, um auf ein wirthschaftlich interessantes Problem hinzudeuten. das sich auf das beschriebene physische Verhalten gründet.

Bei Weitem am Wichtigsten ist trotz alledem die in dritter Linie unterschiedene Einwirkung des Pflanzenwuchses auf die Eigenschaften der Ackererde; ich meine die Veränderungen, die in derselben durch Einverleibung der auf ihr producirten Pflanzensubstanz unmittelbar und mittelbar verursacht werden. Nach dem natürlichen Lauf der Dinge sterben die gewachsenen Pflanzen nach einer grösseren oder kleineren Reihe von Monaten oder Jahren ab und lassen ihre gesammte Masse, soweit sie nicht von Thieren verzehrt worden ist, auf dem Boden, der sie ernährte, zurück. Die Pflanzensubstanz enthält eine gewisse Menge Wasser, auf dessen Vorhandensein wir hier keine Rücksicht zu nehmen brauchen, eine Reihe von mehr oder minder rasch verwesenden organischen Stoffen, deren Kohlenstoff zu einem sehr grossen Theil und deren Stickstoff auch zum Theil aus der Atmosphäre entnommen ist, sie hinterlässt endlich eine Anzahl von Aschenbestandtheilen, die sammt und sonders dem Boden entnommen sind.

Die organischen Stoffe, an denen der Boden auf diese Weise bereichert wird. veranlassen einmal eine Aenderung der physikalischen Eigenschaften der Ackererde. Die verwesenden Substanzen werden bald sehr dunkel gefärbt und ändern so die Farbe der oberen Bodenschicht, sie sind von grosser Lockerheit, sie entwickeln selbst bei der Verwesung gewisse Wärmemengen,*) und fast alle diese Eigenschaftsänderungen sind, wie wir bald einsehen werden, von grosser Bedeutung für das Pflanzenwachsthum unter den gewöhnlichen Umständen.

Die organischen Stoffe entwickeln ferner bei ihrer Zersetzung ansehnliche Mengen von Kohlensäure,**) ganz abgesehen von der direkten Ernährung von (unseren Betrachtungen ferner liegenden) Gewächsen durch eben diese organischen Stoffe oder deren organische Zersetzungsprodukte selbst. Diese Kohlensäure ist nicht allein selbst Nahrungsmittel der chlorophyllhaltigen Pflanzen und vermag den Wurzeln zur Verfügung gestellt, das Wachsthum dieser Pflanzen ansehnlich zu steigern,***) sie ist auch, wie wir erst kürzlich gesehen haben, ein sehr wichtiges Agens zur weiteren Aufschliessung des Bodens. Es muss dabei besonders betont werden, dass die Luft und das Wasser einer mit verwesenden organischen Resten erfüllten Ackererde ganz unvergleichlich viel reicher an Kohlensäure ist, als die atmosphärische Luft und die Meteorwässer, und dass daher alle die Verwitterungsprocesse, die in der noch unverwitterte Gesteinselemente enthaltenden Bodenschicht verlaufen können und

*) Ob diese wesentlich für die Vegetation in Betracht kommen können, wird am Schluss der dreissigsten Vorlesung gezeigt werden.

**) Diese Art der Wirksamkeit der verwesenden organischen Stoffe im Boden ist schon von de Saussure in ihrer vollen Tragweite anerkannt worden, was der von Liebig beliebten Darstellung gegenüber wichtig zu betonen. Vergl darüber Mulder: Chemie der Ackerkrume. Berlin 1863. II. p. 53 u. f.

***) Vergl. die Neunzehnte Vorlesung pag. 311.

welche auf die Wirksamkeit von mit Kohlensäure geschwängertem Wasser zurückgeführt werden müssen, durch die Anwesenheit jener verwesenden Substanzen ganz ausserordentlich gefördert werden. Die Verwitterung derartiger Gesteinselemente ist aber in vielen Fällen gleichbedeutend mit der Ueberführung wichtiger Pflanzennährstoffe, wie Kali, Phosphorsäure, in Lösung oder auch zuweilen in einen ungelösten Zustand *) anderer Art, der sie wenigstens der selbstständig lösenden Thätigkeit der Pflanzenwurzel leichter zugänglich macht. **) — In dieser mehrfachen Hinsicht wirkt also das eine Verwesungsprodukt der organischen Substanz, während das andere, in grösseren Mengen auftretende. das Wasser natürlich auch hier mit Stillschweigen übergangen wird.

Als Verwesungsprodukt von allerhöchster Wichtigkeit bleibt noch, die aus der stickstoffhaltigen organischen Substanz wiewohl in kleinerem Massstabe sich bildende Salpetersäure, oder wenn die Verhältnisse im Boden Oxydationserscheinungen aussergewöhnlich ungünstig sind, auch das Ammoniak. Beide Stoffe sind in ihren salzartigen Verbindungen wichtige und in der Natur sparsam verbreitete Pflanzennährstoffe. Wir haben schon in einer früheren Vorlesung ***) gesehen und auch sonst wiederholt Andeutungen für diesen Sachverhalt gegeben, dass wenn eines unserer gewöhnlichen höheren Gewächse auf einem ausgeglühten Boden auch bei Begiessen mit Regenwasser nicht üppig gedeiht, Dies weit mehr dem Umstand zuzuschreiben ist, dass es dort an stickstoffhaltiger Nahrung ganz und gar gebricht, als dem Mangel an einer Kohlensäurequelle im Boden, denn es gelingt Pflanzen in solchen Böden mit Ueppigkeit fortzubringen, wenn man die letzteren mit einer geringen Menge Ammoniaksalz oder Salpeter versetzt, †) und ganz Dasselbe geht auch aus den Resultaten unserer Wasserkulturen hervor. Ein noch völlig vegetationsleerer und auch von thierischen Resten freier Boden verhält sich aber in Bezug auf seinen Stickstoffgehalt einem frisch ausgeglühten Boden durchaus ähnlich, wie wir schon in der angeführten Vorlesung hervorzuheben Gelegenheit genommen haben. In ihm konnte sich, da die Mineralien, denen der noch unorganische Boden sein Dasein verdankt, nur verschwindende Spuren von Ammoniak zu enthalten pflegen, nur aus dem Regenwasser und den andern Niederschlägen eine sehr geringe Menge gebundenen Stickstoffs ansammeln. Wir werden später erst die Gründe dafür verstehen können, warum der gebundene

---

*) Ich muss in Bezug auf die präcisere Erläuterung dieses Zustandes vorerst noch auf künftige Auseinandersetzungen (die beiden nächsten Vorlesungen) verweisen.

) Auch noch andere Verwesungsprodukte als die Kohlensäure und etwa die gleich zu besprechenden salpetersauren Verbindungen nehmen an der Beförderung des Verwitterungsprocesses im Boden Theil. **Senft (vergl. Landw. Jahresber. f. 1867/68, p. 9) hat die Zersetzung von Oligoklas und anderen Silicaten unter der Einwirkung von humussaurem Kali beobachtet und damit die Aufschliessung von Gesteinsschutt von Granit und Basalt durch Jauche, wie sie in Thüringen zur Düngererzeugung üblich ist, in Beziehung gebracht. So sehr noch der bei diesen letzteren Reaktionen stattfindende Chemismus der näheren Erklärung bedarf, so wahrscheinlich ist es doch, dass auch verwesende Pflanzensubstanzen direkt derartige Einwirkungen zu vollziehen im Stande sind.

***) Siehe die zwölfte Vorlesung p. 193.

†) Vergl. E. **Wolff**: Prakt. Düngerlehre, p. 5; Chem. Centralbl. 1852, p. 657 und in **Mulder**: Chemie d. Ackerkr. III. p. 125 u. f.

Stickstoff der Meteorwässer von ganzen Jahrtausenden sich in der noch ganz und gar unorganischen Ackererde nicht in erheblichen Mengen aufspeichern kann; hier muss die Erwähnung der Thatsache genügen, dass der noch nicht von der Vegetation occupirte Boden sich an Orten, wo es überhaupt wässrige Niederschläge gibt, beinahe frei von salpetersauren und von Ammoniak-Verbindungen zeigt.

Auf diese Weise werden dann die Vortheile einer verwesenden Pflanzenmasse für die Fruchtbarkeit einer Ackerkrume aus einem weiteren Gesichtspunkte begreiflich. Die Pflanze hat während ihres ganzen Lebens allen gebundenen Stickstoff, den sie mit den Wurzeln aus den stets von Neuem durch die Ackererde rieselnden meteorischen Wässern schöpfen konnte, und einen Theil desjenigen, der ihren oberirdischen Organen zugänglich war, assimilirt und in Form von organischen Sustanzen in sich aufgespeichert. Diese ganze Menge gelangt nun, wenn die Pflanze dem Tode verfällt, für die nachkommende Generation durch Verwesung nach und nach zur Verfügung, und so wird eine dem unorganischen Boden völlig fremde Stickstoffquelle durch diesen Vorgang eröffnet, und man begreift leicht die Bedeutung, welche unter den geschilderten Umständen diese Verhältnisse für das üppige Gedeihen der nun auftretenden Gewächse haben müssen. *)

Auf die geltend gemachten Gesichtspunkte lässt sich die ganze Bedeutung des *Humus* — Dies ist die altherkömmliche Bezeichnung für die in der Ackererde enthaltenen verwesenden organischen Stoffe — für die Fruchtbarkeit der Ackererde zurückführen. Man ersieht, dass diese Bedeutung von Seiten der Praxis nicht überschätzt, sondern nur theilweise falsch interpretirt worden ist, indem man glaubte, den organischen Substanzen des Humus selbst direkt nährende Wirkungen **) zuschreiben zu müssen. Die Theorie, welche die Unrichtigkeit der so sich ergebenden Ernährungslehre erkannt hatte, aber noch nicht so weit vorgerückt war, um die eben erläuterte sekundäre Wichtigkeit des sog. Humus in seiner vollen Tragweite zu begreifen, war seiner Zeit geneigt, diesen verwesenden organischen Substanzen ihre ganze Bedeutung abzusprechen; und hierin präsentirt sich uns das beim Beginn der theoretischen Bearbeitung irgend eines praktischen Industriezweiges sich fast regelmässig wiederholende Schauspiel, dass die Theorie, gestützt auf richtige Grundsätze, aber erst in Besitz einer ungenügenden Anzahl von den Faktoren, die bei jenem in Betracht kommen, sehr thörichte Massregeln empfiehlt, während die Praxis ihre auf rein empirischem Wege gefundenen, aber sehr zweckmässigen Handlungsmaximen durch eine allen wissenschaftlich feststehenden Grundsätzen hohnlachende Theorie zu stützen sucht. ***)

---

*) Aus dem eben beschriebenen Verhalten, dass die rein *mineralischen* Nährstoffe, Ammoniak und Salpetersäure dem natürlichen Lauf der Dinge nach durch Einverleibung von *organischen* Stoffen in die Erde der Pflanze dargeboten werden, entsprang das Missverständniss, in Folge dessen auch gelegentlich die rein mineralischen Stickstoffdünger als organische Dünger (wenigstens nicht als mineralische) bezeichnet wurden, und das Liebig (siehe dessen Chemie u. s. w., 1862; Einleitung u. s. w., p. 32) in seiner Erwiederung auf die Angriffe von Lawes und Gilbert so geschickt zu benutzen verstand.

**) Vgl. übrigens die Bemerkungen am Schlusse der fünften Vorlesung (p. 73), welche die im Texte berührte Frage noch durchaus als nicht endgültig erledigt erscheinen lassen, wenn derselben auch nur eine untergeordnete Bedeutung eingeräumt werden darf.

***) Hierdurch wäre z. B. das Verhältniss von Liebig zu Thaer in der Humusfrage treffend charakterisirt.

Durch Einverleibung humoser Stoffe können, wie wir gesehen haben, die Eigenschaften der Ackererde dem Pflanzenwachsthum gegenüber in sehr mannigfaltiger und tief eingreifender Weise geändert werden. Es ist darnach leicht verständlich, dass der Gehalt an solchen Stoffen als Klassificirungsprincip für die Böden ebenso wie deren rein mineralische Grundlage benutzt worden ist. Ein jeder der vorhin *) aufgezählten Böden kann in der That durch Aufnahme von genügend grossen Mengen verwesender organischer Substanz zum *Humusboden* oder, wenn eine solche Ansammlung unter ganz eigenthümlichen Verwesungsbedingungen, wie sie in Böden mit stagnirendem Wasser gefunden werden, und unter Erzeugung von ganz eigenthümlichen Verwesungsprodukten geschieht, zum *Moorboden* werden, — Bezeichnungen, von welchen wir eben aus diesem Grunde bei jener Eintheilung keinen Gebrauch gemacht haben.

Man könnte sich vielleicht an dieser Stelle mit der kurzen gegebenen Schilderung von der Bedeutung der humosen Stoffe begnügen, da in derselben das Wesentliche gegeben ist, worauf die früher so umfangreiche Humustheorie nach der Anwendung strengerer wissenschaftlicher Methoden zusammengeschrumpft ist. Allein man hat sich einmal gewöhnt, den sogenannten Humusstoffen eine eingehendere Beachtung zu widmen, und so werden auch wir den Resultaten der umfassenden Untersuchungen über diese Substanzen und deren Zusammensetzung einige Aufmerksamkeit schenken müssen. Wir werden dabei immerhin Gelegenheit finden, einige nützliche Betrachtungen anzustellen und Einiges des Gesagten näher zu präcisiren.

Der *Humus* ist keine bestimmte chemische Substanz von unabänderlicher Zusammensetzung, auch nicht ein Gemisch solcher Substanzen, sondern man bezeichnet mit diesem Namen, wie wir schon hervorgehoben haben, ein Gemisch von chemisch noch nicht definirten Verwesungsprodukten, die unausgesetzt eine weitere Veränderung durch die Verwesung erleiden und schon desshalb gar keine bestimmte Zusammensetzung, keine ganz bestimmten chemischen und physikalischen Eigenschaften zeigen können. Zusammensetzung und Eigenschaften dieser Stoffe sind vielmehr in den engsten Grenzen abhängig von dem Stadium des Verwesungsprocesses und nicht von diesem allein, sondern auch von der Richtung dieses Verwesungsprocesses, von dessen verschiedenem Chemismus unter verschiedenen äusseren Verhältnissen.

Gewisse, namentlich physikalische Eigenschaften haben freilich alle sogenannten Humusstoffe, in welchem Stadium sich die Verwesung auch befinden mag, und welche Verwesungsbedingungen auch vorhanden sind, mit einander gemein. Es sind Dies die auffallende dunkle Färbung fast aller dieser Substanzen, — sie mögen nun in ihrer Zusammensetzung der Holzfaser noch nahestehen oder bereits die Zusammensetzung des Torfes und der Braunkohle angenommen haben, sie mögen durch Verwesung von Pflanzensubstanz unter Wasser, bei ungehindertem Luftzutritt und unter den verschiedensten Wärmeverhältnissen Entstehung genommen haben, — die dunkle Färbung, welche einer Ackererde so wichtige Eigenschaften den Sonnenstrahlen gegenüber **) verleiht, ferner deren Condensationsvermögen für Wasser, deren grosse wasserhaltende Kraft.

*) pag. 46.
**) Vergl. die dreissigste Vorlesung.

Aber auch einige chemische Eigenschaften der Humussubstanzen so verschiedenen Ursprungs und so verschiedenen Verwesungsstadiums bleiben sich ziemlich gleich: das ist z. B. die Fähigkeit, eine noch weitere Verwesung zu erleiden und so (wenn auch sehr verschiedene) Mengen von Kohlensäure zu entwickeln, ferner eine Reihe von Basen zu binden und zum Theil im ungelösten (sogenannten absorbirten) Zustande festzuhalten. — Diese gewisse Gleichmässigkeit des Verhaltens jener ganzen Reihe sonst verschiedenartiger Stoffe ist auch der einzige Grund, der noch eine Bezeichnung derselben mit einem einzigen Collektivnamen zulässt.

Was nun den Einfluss des Verwesungsstadiums auf die Eigenschaften der Humusstoffe betrifft, so kann gesagt werden, dass je frischer der Humus, je unmittelbarer er aus den verweslichen organischen Substanzen hervorgegangen ist, dass um so reicher dessen Zersetzungsprodukte, Kohlensäure und Salpetersäure fliessen werden. Diese Behauptung bedarf keines weiteren Beleges; es ist selbstverständlich, dass die leichtzersetzbarsten Substanzen zuerst zerfallen und dass immer mehr Stoffe einer stabileren Constitution übrig bleiben oder resultiren und so nach und nach die Oberhand gewinnen. Eine Unterscheidung zwischen „frischem“ und „altem“ Humus wird desshalb zweckentsprechend sein, um dieses verschiedene chemische Verhalten auszudrücken, und wird in der Praxis auch thatsächlich gemacht.

Die Verschiedenheit der humosen Verwesungsprodukte bei verschiedenem Verlauf des Verwesungsprocesses ist leicht festzustellen und von der Praxis auch vielfach anerkannt. Es ist eine wiederholt bewiesene Thatsache, dass die Verwesung z. B. des gewöhnlichen Holzes unter Wasser mit Erzeugung ganz anderer Produkte endigt, als wenn sie an der Luft vor sich geht. Bei Fäulniss des Eichenholzes an der Luft geht Kohlensäure und Wasser gleichzeitig verloren; der Sauerstoff der Kohlensäure wird dabei aus der Luft genommen. Allein der Wasseraustritt ist etwas bedeutender als der Kohlenstoffverlust durch Oxydation, und so resultiren relativ kohlenstoffreichere Substanzen etwa von der Zusammensetzung eines theilweise entwässerten Kohlehydrats. Analysen von Chevandier, Meyer und Will*) lehren z. B. Folgendes:

	Eichenholz (frisch)		Eichenholz (an der Luft verfault)	
	I.	II.	I. hellbraun	II. dunkelbraun.
C	50,6%	52,5%	53,6%	56,2%
H	6,0%	47,5%	5,2%	4,9%
O + N	43,4%		41,2%	38,9%

Anders verhält sich die Sache unter Wasser. Unter diesen Umständen überwiegt (wenigstens zuweilen) die Ausscheidung von Kohlenstoff die von Wasser. Verfaultes Eichenholz enthält nemlich nach einer Angabe von Liebig:

C	H	O	Asche
47,6%	6,2%	44,9%	1,3%

Hierdurch ist also gezeigt, dass die Anwesenheit von Wasser einen Einfluss übt auf die Richtung, die der Verwesungsprocess einschlägt. Aehnliches müssen wir natürlich auch für die in der Ackererde enthaltenen Stoffe voraussetzen, und wir dürfen also verschiedene Produkte erwarten, je nachdem in derselben viel Wasser

*) Handwörterb. d. Chemie 1848. III. p. 927.

vorhanden ist oder wenig, je nachdem die atmosphärische Luft frei hinzutreten kann oder nicht.

Boussingault hat weiter sehr werthvolle Beobachtungen mitgetheilt über den Einfluss der Temperatur auf die Verwesung, über den verschiedenen Verlauf dieses Processes in verschieden warmen Klimaten. Die Zersetzung organischer Ueberreste soll nach diesem Forscher unter den Tropen ganz anders verlaufen und z. B. Torf in diesen heissen Zonen eine ganz unbekannte Bildung sein. Daselbst soll der Zerfall organischer Stoffe, namentlich unter Wasser,*) vor sich gehen unter Bildung von Kohlensäure und Sumpfgas. Erhebt man sich aber in derselben Zone einige tausend Fuss über den Meeresspiegel, z. B. auf das Plateau der Anden, wo eine mittlere Temperatur herrscht von 8—10° C. da beginnt auch wieder die Torfbildung, recht eigentlich, um zu zeigen, dass es nur die Temperatur ist, welche den abweichenden Verlauf des Vewesungsprocesses bedingt.

Aber wir brauchen nicht so weit zu gehen, um ganz ähnliche Beobachtungen zu machen.**) Es ist Vielen, die häufig ackerbautreibende Gebirgsgegenden durchstreift haben, eine wohlbekannte Erscheinung, dass die höher am Berge gelegenen Aecker sich durch eine dunklere Erdfärbung von den tiefer liegenden auszeichnen, und dieselbe lehrt uns durch den Augenschein, dass in den grösseren Höhen bei durchschnittlich niedrigeren Temperaturen der Verwesungsprocess langsamer fortschreitet und immer noch einige humose Reste übrig lässt, die unter den dort herrschenden Bedingungen kaum noch erheblich verwesungsfähig und darum auch vom Praktiker wenig geschätzt sind und mit dem Namen „kalter Humus" bezeichnet werden.

Aehnliche Unterschiede gewähren die verschiedenen Bodenarten mit ihren spezifischen, physikalischen Eigenthümlichkeiten, durch welche sie der atmosphärischen Luft mehr oder weniger Zutritt gestatten, und darum sehen wir in einem Boden die organischen Ueberreste und Düngstoffe rasch verschwinden, in einem andern sich lange conserviren. Bodenarten poröser Natur, welche das erstere Verhalten zeigen, werden auch wohl als „zehrende" oder „hungrige" bezeichnet. ***)

Der Unterschied, welchen hinsichtlich des Verlaufs des Verwesungsprocesses mit Wasser imprägnirte und trockene, gut durchlüftete Böden, analog dem eben geschilderten Verhalten des Eichenholzes unter verschiedenen Fäulnissbedingungen, zeigen, spielt in der Praxis eine sehr hervorragende Rolle. Bei der Zersetzung unter Wasser bilden sich eigenthümliche, nicht näher untersuchte Substanzen, die der Praktiker mit dem Namen „saurer Humus" belegt, †) und die auf's Gedeihen aller unserer einheimischen Kulturgewächse einen nachtheiligen Einfluss ausüben.

*) In den tropischen Urwäldern dagegen finden wir hohe Schichten einer schwarzen Humuserde von ausserordentlicher Fruchtbarkeit angehäuft, so dass sich der von Boussingault beobachtete Process auf die Zersetzung unter Wasser zu beschränken scheint.

**) Auch Versuche von Peters, wobei Erde künstlich erwärmt ward, haben damit völlig übereinstimmende Ergebnisse gehabt; vergl. Jahresber. f. Agrikulturchem. 1862 3. p. 9.

***) Obwohl dieses Verhalten auch durch chemische Eigenthümlichkeiten veranlasst werden kann.

†) Hierher gehört auch die von Boussingault (die Landwirthsch. B. I.) mitgetheilte Beobachtung, dass die humose Erde, welche sich in einem hohlen Baume bildet, der dem Regenwasser keinen Abzug verstattet, schädlich auf das Pflanzenwachsthum wirkt.

Bei der Verwesung derselben Pflanzenüberreste in einer durchlüfteten Ackererde ist Nichts Dergleichen zu bemerken, und der unter diesen Umständen sich bildende Humus wird auch wohl als „milder Humus“ bezeichnet. Wir werden später*) sehen, dass sich die Schädlichkeiten einer zu grossen Aufspeicherung von Wasser in der Ackererde in Folge eines undurchlässigen Untergrundes namentlich auf diesen Gesichtspunkt zurückführen lassen.

Aehnlich wie Anwesenheit oder Abwesenheit von Wasser, von Sauerstoff, einer gewissen Temperatur bestimmend auf den Verlauf des Verwesungsprocesses der organischen Substanzen einwirken, muss ein gleiches Verhalten auch für die Anwesenheit oder die Abwesenheit gewisser anderer Substanzen gelten, die mit den verwesenden Stoffen in chemische Wechselwirkung treten, so wenig auch noch über diesen Gegenstand Bestimmtes ausgesagt werden kann. Es ist hier namentlich auf den eigenthümlichen Einfluss, welchen Kalk (gebrannter und ungebrannter) auf den Verlauf des Verwesungsprocesses ausübt, hinzuweisen, da derselbe praktisch von hoher Bedeutung ist. Der Kalk bewirkt das rasche Unschädlichwerden des sogenannten „sauren Humus,“ indem er, wie es scheint, die Abstumpfung der betreffenden Säuren bewirkt, und unter seinem Einflusse die Oxydation der Humussubstanzen rascher bis zur wirklichen Kohlensäurebildung voranschreitet. Allein es ist auch in diesem Falle noch nicht möglich, den eigentlichen Chemismus, auf dem die Wirkung beruht, zu verstehen.**)

Man hat nun durch mühsame Untersuchungen dahin gestrebt, die unter verschiedenen Umständen bei der Verwesung organischer Ueberreste entstehenden Substanzen näher chemisch zu definiren und gleichzeitig ihre etwaigen besonderen Funktionen in der Ackererde zu ermitteln. Allein man kann wohl, ohne gegen die dahin gerichteten Bestrebungen unbillig zu sein, aussprechen, dass trotz des grossen, durch derartige Untersuchungen angehäuften***) Materials sehr wenig Klarheit in die aufgeworfenen Fragen gebracht worden ist. Man hat eine grosse Anzahl von Stoffen, welche alle als Humussubstanzen im weitesten Sinne bezeichnet werden können, aus der mit verwesenden Stoffen durchsetzten Ackererde dargestellt, ausserdem dieselben grossentheils aus genau gekannten organischen Körpern zu bilden versucht, alsdann deren Zusammensetzung ermittelt und ihre Eigenschaften festgestellt. Doch wir sind durch alle diese Untersuchungen noch nicht in's Klare darüber gekommen, ob wir's in diesen Substanzen mit einiger Massen chemisch reinen Stoffen zu thun haben, denn ihre scharfe Trennung ist, da sie weder selbst noch ihre bekannten Verbindungen krystallisiren und ebenso wenig destillirt werden können, und so von vorneherein die beiden Methoden abgeschnitten sind, durch welche wir hauptsächlich die Reindarstellung von Substanzen unternehmen, vermuthlich zur Zeit noch nicht geglückt. In der That zeigen auch die zuweilen sehr bedeutenden Abweichungen in den Analysen der gleichbenannten, verschiedenen Darstellungen entstammenden Stoffe, dass ausreichende Trennungsmethoden nicht gefunden sind. Ebensowenig haben uns die vorhandenen Untersuchungen Etwas Sicheres gelehrt über die Funktionen der ein-

*) Siehe die einunddreissigste und achtunddreissigste Vorlesung.

**) Vergl. übrigens die achtunddreissigste Vorlesung.

***) Ich verweise auf die umfassende Zusammenstellung desselben bei **Mulder**: Chemie der Ackerkrume. Berlin 1863. I. p. 308—360.

zelnen Stoffe in der Ackererde oder gar über ihre Bedeutung als Pflanzennährmittel. In Bezug auf den letzteren Punkt haben wir am geeigneten Orte, im theoretischen Theil unserer Betrachtungen einige Bemerkungen gemacht, aus denen hervorging, dass zwar theoretisch der Assimilation von organischen Substanzen, auch bei den grünen Gewächsen Nichts im Wege steht, da wir ja selbst schmarotzende grüne Pflanzen kennen, dass aber eine sehr erhebliche Aufnahme dieser Stoffe, welche der Pflanze zu grossem Nutzen gereichte und für die landwirthschaftliche Praxis von Bedeutung wäre, nicht mit Sicherheit nachgewiesen ist. Das, was damals gesagt wurde, können wir hier speciell für die einzelnen Humussubstanzen wiederholen. Wenn man auch hin und wieder die von gelösten Humusstoffen herrührende braune Färbung einer Nährstofflösung, in welcher man Pflanzen wachsen liess, sich vermindern sah und selbst die Aufnahme einzelner dieser organischen Stoffe mit der Wage in der Hand constatirte *) und es vielleicht selbst in hohem Grade wahrscheinlich gemacht hat, dass ein Theil der aufgenommenen Stoffe wirklich von der Pflanze verarbeitet worden ist, so scheint doch — und man könnte Dies schon aus der Mühe schliessen, die dieser Nachweis gekostet hat — den Humusstoffen, welche in gelöster Form ausserdem schon in ziemlich geringen Mengen in den meisten Ackererden sich vorfinden, eine so geringe osmotische Fähigkeit **) der Wurzelmembran unserer höheren Pflanzen gegenüber zuzukommen, dass von einer hervorragenden praktischen Bedeutung jener Stoffe als Nährstoffe zumal für die Kulturgewächse wohl nicht die Rede sein kann. — Dies nebenbei.

Mulder unterscheidet folgende Humusstoffe ***): *Quellsäure, Quellsatzsäure,* †) *Ulminsäure, Huminsäure, Ulmin* und *Humin,* welchen folgende Eigenschaften zukommen sollen.

Die als Säuren bezeichneten Stoffe sind sammt und sonders in Flüssigkeiten, welche Alkalien aufgelöst enthalten, löslich, und man schreibt ihnen desshalb die Fähigkeit zu, sich mit denselben zu verbinden. Humin und Ulmin sind in Wasser wie in alkalischen Flüssigkeiten unlöslich. Quellsäure und Quellsatzsäure sind schon in reinem Wasser löslich.

Die *Quellsäure,* welche noch nicht künstlich dargestellt werden konnte, ist nicht braun gefärbt, sondern weiss (oder farblos), ebenso die Salze derselben, die Verbindungen mit Alkalien und Erden. An der Luft geht die feuchte Säure rasch durch Oxydation in die braungefärbte *Quellsatzsäure* über, diese soll wieder durch Wasserstoff (im Entstehungsmomente) in die sauerstoffärmere Quellsäure übergehen. Dieselbe Reduktion und Oxydation soll abwechslungsweise in der Ackererde vor sich gehen, je nachdem die Bedingungen in derselben dem einen oder dem andern Processe günstiger sind. In der trocknen durchlüfteten Ackererde soll die Oxydation zu Quellsatzsäure, in der nassen, mit Wasser imprägnirten, namentlich in tiefern

*) Vergl. über diesen Gegenstand besonders Mulder a. a. O. B. II. p. 96—116.

**) Vergl. die Resultate de Saussure's über diesen Gegenstand Knop: Kreisl. d. Stoffs II. p. 200.

***) Vergl. auch einen Auszug von Mulder's Untersuchungsresultaten bei Knop: Kreisl. d. Stoffs. I. p. 301 u. f.

†) Quellsäure und Quellsalzsäure werden auch Krensäure und Apokrensäure genannt.

Schichten in Folge des Sauerstoffverbrauchs anderer Stoffe der Reduktionsprocess zu Quellsäure stattfinden.

Die eigentlichen, sammt und sonders dunkel gefärbten *Humin-* und *Ulminstoffe* gehen durch Oxydation mit Salpetersäure in Quellsatzsäure (resp. quellsatzsaures Ammoniak) über. Soweit diese Stoffe in Alkalien auflöslich sind, werden sie, wie bemerkt, als Säuren bezeichnet. *Ulminsäure* und *Huminsäure* unterscheiden sich äusserlich wesentlich nur durch die Farbe, die erstere ist braun, die letztere schwarz gefärbt. In alkalischen Erden sind dieselben unlöslich, sie werden vielmehr durch dieselben wie durch alle Erdsalze gefällt und ihre Alkalisalze verhalten sich also in dieser Hinsicht den Seifen analog. Daher rührt es, dass die meisten, namentlich die kalkhaltigen Ackererden, mit destillirtem Wasser behandelt, Anfangs keine braungefärbte Lösung geben, sondern Dies erst thun, wenn die Erdsalze einiger Massen durch Auslaugen entfernt sind, wenn das Laugungswasser seine „Härte“ verloren hat. Daher rührt es weiter, dass, wie wir in der fünfundzwanzigsten Vorlesung erwähnt haben, die alkalireichen Wässer, welche von Kalk- und Magnesia-armen Gebirgsarten abziehen, leicht braun gefärbt sind, ebenso die stagnirenden Moorwässer kalkarmer Gegenden, während die harten Quellwässer nahezu farblos erscheinen, weil sie eben nicht im Stande sind, aus den Bodenschichten, die sie durchsickern, die braungefärbten Verwesungsprodukte Huminsäure und Ulminsäure in sich aufzunehmen. *)

Als *Ulmin* und *Humin* werden schliesslich die auch in Alkalien unlöslichen dunkelgefärbten Verwesungsprodukte bezeichnet. Die braunen werden ganz analog der Bezeichnung der durch Alkalien ausziehbaren Substanzen — *Ulmin,* die schwarzen *Humin* genannt. **) Beide sind aber (wenigstens theilweise) in *heissen* alkalischen Flüssigkeiten löslich, wobei sie in die betreffenden Säuren überzugehen scheinen. Aber selbst eine Ackererde, die successive mit destillirtem Wasser, kalter und heisser Alkalilauge behandelt und erschöpft worden ist, enthält noch geringere oder grössere Reste von dunkelgefärbten Substanzen.

Wichtig für die Theorie der vorhin erwähnten Wirkung einer Kalkdüngung auf humusreichen, namentlich sauren Humus enthaltenden Bodenarten ist noch die bei dergleichen Versuchen gemachte Erfahrung, dass die *humussauren Salze,* wie man alle jene Verbindungen als Collektivbegriff bezeichnet, im feuchten Zustande sich weit leichter oxydiren, als die Humusstoffe für sich. ***)

Was nun die Zusammensetzung dieser verschiedenen Stoffe betrifft, so habe ich es absichtlich vermieden, die Formeln, welche Mulder, für dieselben mittheilt, hierher zu setzen. Der Grund dafür, dass ich Dies vermeide, liegt einfach in dem

*) Bemerkenswerth ist auch die Löslichkeit dieser Stoffe in Flüssigkeiten, die phosphorsaures Ammoniak enthalten.

**) Die schwarzen Huminstoffe sollen sich mehr bei Luftabschluss unter Wasser, die braunen Ulminstoffe bei Luftzutritt in der Trockene bilden.

***) Diese Einwirkung der Basen auf die Oxydirbarkeit der Humusstoffe, die landwirthschaftlich von Bedeutung ist, harrt noch ihrer theoretischen Erklärung, allein ähnliche Thatsachen sind in der Chemie mehrere bekannt; so hat Chevreul beobachtet, dass mehrere Gallussäure-haltige Farbstoffe in Auflösung beliebig lange Zeit unzersetzt aufbewahrt werden können, dass dagegen die Anwesenheit einer kleinen Menge Alkali genügt, um zur Sauerstoffabsorption Veranlassung zu geben, welche eine tiefe Bräunung zur Folge hat.

Vorhingesagten. Es ist keine Bürgschaft dafür vorhanden, dass man es mit wirklich reinen Stoffen auch nur in einzelnen Fällen zu thun hat. Die Unfähigkeit derselben zu krystallisiren, ihre leichte Veränderlichkeit und andere Eigenthümlichkeiten erschweren die Reindarstellung ausserordentlich. Die Abweichung der Resultate der vorhandenen Analysen von einander bestätigt diese Voraussetzung vollkommen. Einige dieser mögen als Beleg hiefür und, um eine Vorstellung von der ungefähren Zusammensetzung der Humuskörper zu geben, hier ihren Platz finden. Einzelne der dargestellten Substanzen werden, wie ich vorausschicken will, als Ammoniaksalze bezeichnet, wodurch ihr Stickstoffgehalt erklärt werden soll. Wir werden gleich auf diesen Punkt zurückkommen.

Quellsäure.

Aus Ackererden dargestellt, die Zusammensetzung aus dem Kupfersalz berechnet.

	I.	II.	III.	
C	44,0	44,7	45,8	Die beiden ersten Substanzen
H	5,5	5,4	5,0	werden als
N	3,9	1,9	Spuren	Ammoniakverbindungen
O	46,6	48,0	49,2	aufgefasst.

Quellsatzsäure.

	Durch Salpetersäure aus Huminsäure erhalten		Aus Ackererden	
	I.	II.	III.	IV.
C	54,4	53,6	49,8	47,2
H	3,5	3,6	4,2	4,0
N	3,0	2;9	4,1	1,5
O	39,1	39,9	41,9	47,3

Die Huminsäure, die zu I verwendet wurde, war aus Zucker, die zu II verwendet wurde, aus Torf bereitet. Alle analysirten Substanzen wurden als saure quellsatzsaure Ammoniaksalze bezeichnet.

Ulmin und *Ulminsäure.*

	Aus Zucker erhalten			Aus alter Chinarinde**)	
	I.*)	II.	III. bei 195⁰ getrocknet.	I.	II.
C	63,4	63,5—64,1	67,1	59,4	59,2
H	4,8	4,3— 4,5	4,2	6,1	5,6
N	0	0	0	3,5	
O	31,8		28,7	31,0	

Die Analysen von Ulmin und Ulminsäure wurden hierbei nicht getrennt gehalten, weil, wie Mulder angibt***), nahezu dieselben Zahlen resultiren, ob man sie durch Alkali scheidet oder nicht. Auch die aus Baumrinde von Hesse dargestellten stickstoffhaltigen Substanzen werden als Ammoniakverbindungen bezeichnet.

*) Von Stein analysirt: Annal. d. Pharm. B. 30. p. 86.

**) Hesse ebenda. B. 109. p. 342.

***) Vergl. a. a. O. p. 321.

Humin und *Huminsäure*.

	Aus Zucker erhalten *)		Natürliche Huminsäure			
	I. (Humin)	II. (Huminsäure)	III.	IV.	V.	VI.
C	63,4	64,4	56,3	56,8	59,0	58,0
H	4,3	4,3	4,4	4,9	4,7	4,9
N	0	0	3,3	3,5	3,6	2,8
O	32,3	31,3	36,0	34,8	32,7	34,3

III. Von einer Ackerde.

IV. Aus einem Garten, worin Johannesbeeren.

V. Aus Torf vom Haarlemmer Meere.

VI. Aus einem vermoderten Baume.

Ein Blick auf die mitgetheilten Zahlen lehrt, wie wenig es noch gelungen ist. die einzelnen Stoffe in chemischer Reinheit darzustellen, und wie kühn es noch vorderhand erscheinen muss, die gleichbenannten Stoffe von so abweichender Zusammensetzung mit einander zu identificiren.

Vielleicht lässt sich aber Folgendes zur Charakterisirung der Durchschnittszusammensetzung der einzelnen Stoffe sagen: Die schwarzen *Huminkörper* enthalten eine weit höhere Menge Kohlenstoff als die Kohlenhydrate, oder auch als das Holz. aus welchen Stoffen sie der grossen Masse nach in der Natur als hervorgegangen betrachtet werden können (die Cellulose enthält 44,4 % Kohlenstoff, die verschiedenen Hölzer durchschnittlich 50 %); allein sie enthalten Wasserstoff nahezu im Verhältniss, wie diese Wasser bilden. (genau genommen eine kleine Menge Wasserstoff mehr), und können also betrachtet werden als stark entwässerte Kohlehydrate.

Die braungefärbten *Ulminstoffe* sind durchschnittlich noch etwas kohlenstoffreicher und dem entsprechend sauerstoffärmer. Wasserstoff ist in denselben in einem höheren Verhältnisse enthalten, als wie er mit Sauerstoff Wasser bildet. Doch lassen die grossen analytischen Differenzen zwischen den sogenannten künstlichen und den natürlichen Ulminstoffe (namentlich bezüglich des Wasserstoffs) hier kein sicheres Urtheil zu **)

Die *Quellsatzsäure* ist weit kohlenstoffärmer als die Ulmin- und Huminstoffe. allein noch reicher an diesem Elemente als die Cellulose; sie enthält Wasserstoff und Sauerstoff nicht in dem Verhältniss, wie sie Wasser bilden, sondern ist sauerstoffreicher. Dieselbe kann ungefähr gerade durch Sauerstoffaddition aus den Ulmin- und Huminstoffen entstehend gedacht werden. Die *Quellsäure* endlich ist so kohlenstoffarm, wie die Cellulose, ist aber wasserstoffärmer als dieselbe und daher wasserstoffärmer als nöthig wäre, um mit dem Sauerstoff geradeauf Wasser zu bil-

*) Bekanntlich nehmen die Kohlehydrate und eine Menge anderer organischer Stoffe beim Behandeln mit concentrirter Schwefelsäure und anderen Mineralsäuren eine tief braune oder schwarze Färbung an, wobei dann auch den natürlichen Humusstoffen sehr ähnliche Substanzen erhalten werden.

**) Auch liegen andere Untersuchungen über diese Substanzen vor, aus welchen sich vielleicht das umgekehrte Verhalten zwischen Humin- und Ulminstoffen folgern liesse. Vgl. Knop: Kreisl. d. Stoffs. I. p. 302.

den; dennoch kann sie ihrer Zusammensetzung nach durch Oxydation unter gleichzeitiger bedeutender Wasserabspaltung in Quellsatzsäure übergehen.

Allein alle diese Dinge, und wenn sie auch mit weit grösserer Sicherheit festgestellt worden wären, haben nur ein sehr geringes Interesse für uns, da es noch nicht gelungen ist, eine Theorie der Wirkung der verschiedenen Humusarten, z. B. des für das Wachsthum unserer Kulturgewächse so schädlichen „sauren Humus“ auf die Kenntniss jener einzelnen Substanzen aufzubauen. Um so mehr möchte ich hier Veranlassung geben, die Aufmerksamkeit auf einen andern Punkt zu lenken, zu dessen Erläuterung uns die vorstehenden Analysen sehr gut dienen können, und dem auch praktisch eine hervorragende Bedeutung zuerkannt werden muss, so wenig es auch bisher gebräuchlich war, demselben Beachtung zu schenken.

Ich meine den Stickstoffgehalt aller *natürlichen* Humusstoffe, der festgestellt werden konnte, auf welchem Wege die Darstellung auch vorgenommen wurde, und welchen Namen die so resultirenden Produkte auch immer empfangen haben mögen. Mulder scheint zwar diesen Stickstoffgehalt geradezu auf einen Ammoniakgehalt aller der von ihm und Andern aus natürlichen Humussubstanzen dargestellten Stoffe zu schieben und bezeichnet einen Theil derselben geradezu als Ammoniaksalze der betreffenden Säuren, und diese Auffassungsweise ist ohne weitere Modification in andere Werke übergegangen.*)

Indessen belehren uns Mulder's eigene Angaben, dass Dem unmöglich so sein kann. Es gelang Demselben nicht einmal durch Kalilauge, allen Stickstoff seiner Substanzen in Form von Ammoniak auszutreiben. Die aus einem vermoderten Baum dargestellte Huminsäure (bei uns mit der Ziffer VI. bezeichnet) enthielt 2,8 % Stickstoff; durch Digestion mit Kali konnte dieselbe bis auf 1,8 % Stickstoff**) heruntergebracht werden. Nun weiss aber Jedermann, dass man mit Kali ein Jedes Ammoniaksalz zerstören kann, dass vielmehr Kali schon ein viel zu energisches Mittel ist, wenn man nicht auch stickstoffhaltige organische Substanzen gleichzeitig mit zerstören will. Soll nur das Ammoniak aus einem Gemische, das daneben stickstoffhaltige organische Substanzen unbekannter Zusammensetzung enthält, entfernt werden, so wählt man die nur schwach kaustische Magnesia, und selbst diese greift zuweilen manche stickstoffhaltige organische Substanzen noch an***)

Wir wissen also, dass wir es in jenen stickstoffhaltigen humosen Stoffen nicht lediglich mit Ammoniakverbindungen zu thun haben, dass sie vielmehr stickstoffhaltige organische Substanzen sind †) oder solche beigemengt enthalten. In der That brauchen wir gar nicht bis auf jene isolirten Substanzen zurückzugehen, um die Thatsache, dass die Humuskörper Stickstoff einschliessen, der nicht als Ammoniak oder Salpetersäure in denselben enthalten ist, zu constatiren. Einem Jeden, der einmal humose Ackererden oder Torf nach verschiedenen Richtungen untersucht hat, muss ja der enorme

*) Vergl. Limpricht: Organische Chemie. 1862. p. 599.

**) Vergl. Mulder: a. a. O. I. p. 327.

***) Vergl. Brücke: Chem. Centralbl. 1868. p. 376.

†) Daraus ergiebt sich zugleich, wie es mit der von Mulder behaupteten Identität der künstlich aus Zucker dargestellten stickstofffreien Huminstoffe und Ulminstoffe und der natürlichen stets stickstoffhaltigen steht.

Stickstoffgehalt dieser Substanzen auffallen, und Niemanden kann es dabei entgehen, dass dieser Stickstoffgehalt eben nur durch Glühen mit Natronkalk nachgewiesen werden kann, und nur zum kleinsten Theil durch Kochen mit Kalilauge oder gar mit Magnesiapulver.

Auch die praktische Erfahrung mit solchen humosen Erden belehrt uns, dass wir es unmöglich mit Ammoniakverbindungen in denselben zu thun haben können. denn solche Erden, selbst wenn sie ganze Procente an Stickstoff einschliessen*), also so viel, wie vielleicht in Hunderten von Knochenmehldüngungen in die Erde gelangen würde, verhalten sich dem Pflanzenwuchs gegenüber durchaus nicht wie Böden, die viel disponiblen Stickstoff enthalten. Dieselben erzeugen kein Lagergetreide und veranlassen keines der untrüglichen Symptome eines grossen verfügbaren Stickstoffvorraths, erweisen sich vielmehr unter Umständen noch dankbar einer Stickstoffdüngung gegenüber **).

---

*) Ich habe selbst humose Erden untersucht, welche 2,2% Stickstoff enthielten, und Torfe, die noch stickstoffreicher waren, aber direkt mit Magnesia gekocht nur einen kleinen Theil ihres Stickstoffs in Form von Ammoniak abgaben. Aus den Grouven'schen Bodenanalysen der durch ganz Deutschland zerstreuten Rübenfelder geht ferner hervor, dass wenn man den Stickstoffgehalt der verschiedenen Böden auf deren Humusgehalt bezieht, der natürliche Humus des Bodens sich als eine Substanz herausstellt, die durchschnittlich etwa 3,6% Stickstoff enthält (die Relation schwankt in diesen Analysen von 1,7—7,2%), und dass die Felder sich ganz unabhängig von diesem ihrem Stickstoffreichthum für Stickstoffdüngungen dankbar erweisen (vgl. Dritter Ber. v. Salzmünde 1868. p. 390 u. f.). Vgl. über denselben Gegenstand A. Müller: Jahresber. f. Agrik. Chemie 1866. p. 35 und die Bemerkungen auf pag. 36.

**) Die Auffassung dieser selben Thatsache von Seiten Liebig's verdient hier wenigstens als Curiosum eine Erwähnung. Aus der Thatsache, dass der grösste Theil des Stickstoffgehalts des Bodens durch Kochen mit Kali nicht nachgewiesen werden kann, wird von demselben keineswegs geschlossen, dass man es eben nicht mit Ammoniakverbindungen zu thun habe, sondern „dass das Verhalten der Ackererde gegen Alkalien in wässriger Lösung keinen Aufschluss giebt über die Natur der darin enthaltenen Stickstoffverbindungen“ (die Chemie etc. 1862. II. p. 323). Auf diese Weise gelingt dann natürlich der Beweis, auf den der betreffende Passus abzielt, dass bei gewissen stickstoffhaltigen Düngemitteln unmöglich der Stickstoff die Ursache des bewirkten Mehrertrags sein könne, denn verfügbarer Stickstoff sei in grosser Menge auch in jeder unfruchtbaren Ackererde vorhanden, wobei freilich ganz ausser Augen gelassen wird, dass man den Stil ebenso umkehren und die gleiche Argumentation auch für die Aschenbestandtheile anwenden könnte.

Das einzige Factum, was dieser Auffassungsweise einen Schatten von Berechtigung zu geben scheint, ist das p. 324 a. a. O. angeführte, aus dem hervorgeht, dass nicht aller einer Ackererde als Ammoniak einverleibte Stickstoff als solcher wieder nachweisbar ist. Allein hier vermag ich die Frage nicht zu unterdrücken, wie bestimmt man das von einer Ackererde aufgenommene Ammoniak, wenn man solche „trocknet und 14 Tage in dünnen Schichten an der Luft liegen lässt“? — etwa durch die Elementaranalyse, die doch in diesem Falle ausgeschlossen bleiben muss? Aber selbst die Richtigkeit dieses Verhaltens als durch die Versuche von W. Mayer (Ergebn. landw. u. agricult.-chem. Versuche. München. II. I. p. 129), auf die Liebig seine Behauptung stützt, erwiesen betrachtet, und ich bin geneigt Dies zu thun, weil Brustlein in seinen Versuchen über Ammoniakabsorption (Annal. de Ch. & de Ph. 1859. p. 157) auf ganz ähnliche Facta gestossen ist, — so ist mit diesem Verschwinden von Ammoniak doch nicht erwiesen, dass dasselbe als solches noch im Boden

Die humosen Stoffe enthalten vielmehr als solche Stickstoff in einer ausserordentlich schwer zugänglichen Form, vermuthlich der des Stickstoffs der Braunkohlen und Steinkohlen ähnlich, welche auch einen solchen Humificationsprocess durchgemacht haben *). Wir stossen hier in Bezug auf den Stickstoff des Bodens auf eine ganz ähnliche Thatsache, wie wir sie bald namentlich für die Pflanzennährstoffe Kali und Phosphorsäure kennen lernen werden. Wir müssen in dem Boden neben verfügbarem Stickstoff, neben gelösten oder leicht in Lösung überzuführenden Ammoniak- und salpetersauren Verbindungen, zur Zeit unverfügbaren Stickstoff unterscheiden, der ein Bestandtheil ist von sehr wenig veränderlichen organischen Substanzen, welche bei den Veränderungen, die sie erleiden nur sehr schwer ihren Stickstoff in Form eines zugänglichen Nährstoffs abzuspalten vermögen **).

---

vorhanden und nur, weil es „durch physikalische Anziehung" !!! festgehalten wird, nicht durch ein Alkali abscheidbar ist. Es bleibt vielmehr noch der breite Weg einer andern Eventualität übrig, — die Möglichkeit der chemischen Umwandlung des Ammoniaks, die dazu noch Jedem Unbefangenen als die wahrscheinlichere vorkommen wird. Brustlein macht z. B. die Hypothese einer Zerstörung des Ammoniaks durch (von der porösen Humussubstanz absorbirten) Sauerstoff, die freilich ebenso in der Luft steht. — Die in Rede stehende Erscheinung bedarf selbstverständlich einer eingehenden Untersuchung. Diese Untersuchung mag aber ergeben was sie will, jedenfalls hat man Unrecht, die eine Möglichkeit als erwiesen anzusehen und darauf fortzubauen.

Ich empfehle den betreffenden Passus Liebig's (p. 323—26) einem Jedem zum Studium, der sich für die Folgen eines logischen Schlusses von einem falschen Ausgangspunkt aus interessirt.

Liebig schliesst: Ammoniak ist im Boden vorhanden; — kann man keins nachweisen, so muss das einen andern Grund haben; — ergo können die Pflanzen keinen Stickstoffmangel empfinden; — ergo muss die Wirkung stickstoffhaltiger Düngemittel auf andere Weise erklärt werden. Es müsste geschlossen werden: Ammoniak kann man im Boden nicht nachweisen; — also ist auch keines daselbst vorhanden; — ergo dürfen wir Düngungen mit verfügbarem Stickstoff als nützlich für die Pflanzen ansehen.

*) Deren Stickstoffgehalt aus dem Ammoniakgehalt der Gaswässer leicht ersehen werden kann.

**) Ueber die schwierige Zugänglichkeit dieser Stickstoffverbindungen für zersetzende Einflüsse geben ausser den landwirthschaftlichen Erfahrungen über die Indifferenz dieser Stoffe die vergleichenden Analysen humoser Stoffe und der Pflanzensubstanz, aus der sie hervorgegangen sind, reichhaltigen Aufschluss. Ich habe selbst die Wurzelreste und die noch lebenden Theile einer Grasnarbe von moorigen Wiesen und den humosen Boden derselben einer vergleichenden Stickstoffbestimmung unterworfen und bezogen auf 100 Theile organische Substanz in den Pflanzenresten 1,3%, in dem Humus 4,7% Stickstoff vorgefunden, und dasselbe Resultat ergibt sich durch Vergleichung der vorhin angeführten von Grouven ermittelten Zahlen und den früher mitgetheilten Stickstoffgehalten einzelner Pflanzentheile. Im Durchschnitt verwesen — ganz entgegengesetzt den Erfahrungen, die man an thierischen Stoffen gemacht hat — die stickstoffhaltigen Pflanzentheile unter den Umständen, wie sie in der Ackererde herrschen, weit langsamer als die Bestandtheile, die von diesem Grundstoff frei sind, denn nur auf diese Weise kann eine Anhäufung dieses letzteren in der Ackererde bewirkt werden; oder es entstehen bei der Verwesung pflanzlicher Proteïnstoffe bald eigenthümliche Verbindungen, die nun jeder weiteren Veränderung Trotz bieten

Diese eigenthümliche Erscheinung*), welcher in der Agrikulturchemie nur allzuwenig Beachtung geschenkt worden ist, hat eine ganz bedeutende praktische Wichtigkeit, auf welche wir später in dem Abschnitt über Düngung wieder kurz zurückkommen werden. Gelingt es durch im Grossen ausführbare Manipulationen, den Stickstoff der Humussubstanzen der Pflanzenernährung zugänglich zu machen, so stehen ganz ungeheure Mengen dieses theuersten aller Düngemittel nicht blos in den Ackererden selbst, sondern auch in unseren grossen Torflagern**) für die Pflanzenkultur zu Gebote***).

Aus dieser Darstellung ist mindestens ersichtlich, dass die nähere chemische Untersuchung der Humuskörper doch einen Vortheil gebracht hat, wenn auch einen, auf den man kaum gerechnet hatte, — den Nachweis des Stickstoffgehalts dieser Substanzen.

Neben den organischen Stoffen, welche durch eine absterbende Pflanzengeneration und durch die abgeworfenen Organe der noch lebenden dem Boden einverleibt werden, haben wir nun auch schliesslich die mineralischen Bestandtheile dieser Vegetationsüberreste in ihrer Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit einer Betrachtung zu unterwerfen. Die abgestorbene Pflanzenmasse enthält, wie wir wissen, unter allen Umständen Aschenbestandtheile und zwar grossentheils solche, die (nach einer sehr rasch sich vollziehenden chemischen Veränderung) wieder als mineralische Pflanzennährstoffe dienen können, sie enthält Kalium, Phosphor, Kalk, Schwefel u. s. w.†)

Man wird nun vielleicht sagen, alle diese Stoffe seien ja früher Bestandtheile des Bodens gewesen, und durch die erfolgende Zurückgabe sei Alles nur wieder auf dem ursprünglichen Zustande angekommen und in dem Gehalt des Bodens an Aschenbestandtheilen Nichts geändert, allein ich gebe zu bedenken, dass einmal die Pflanzenwurzel allerlei mineralische Stoffe durch eigene Thätigkeit in Lösung gebracht und in die Pflanze übergeführt hat, und dass diese Stoffe nun nach der Verwesung

*) Dieselbe war übrigens schon von de Saussure wahrgenommen worden, und dieser hatte den Stickstoffgehalt humoser Erden auf die verwesenden Leiber von Insekten und dergl. zurückzuführen gesucht.

**) Ueber den Stickstoffgehalt einer grossen Reihe von Torfen vergl. Jahresber. d. Agrik.-chemie. 1864. p. 7.

***) J. Nessler hat diesen Gedanken mit vieler Consequenz im Interesse der badischen Landwirthschaft verfolgt, wenn er vielleicht auch insofern allzu sanguinische Hoffnungen erregte, als er von vornherein annehmen zu dürfen glaubte, dass der Stickstoff des Torfes dem Pflanzenwuchs ebenso leicht zugänglich gemacht werden könne, als der des rohen gestampften Knochenmehls (vergl. Bad. Landw. Wochenbl. 1867, p. 378).

†) Daraus folgt, zugleich mit Berücksichtigung der Thatsache, dass die genannte Erscheinung auch für regelmässig abgeerntete Felder ihre Geltung hat, dass die mineralischen Nährstoffe der Pflanzen nicht etwa einer so vollkommenen Wanderung in den Pflanzenorganen fähig sind, dass sie den absterbenden Theilen vollständig entfliehen und sich ausschliesslich in den übrig bleibenden Trägern der Vegetation, den überwinternden Dauerorganen, dem Samen anhäufen. Hierzu sind in sehr vollkommener Weise nicht einmal Kalium und Phosphor befähigt, obgleich diese Stoffe sich vorzugsweise in jenen jeweiligen Trägern der Vegetation, welche abgeerntet werden oder am Leben bleiben, ansammeln; Kalk und Magnesia dagegen ebenso Kieselsäure häufen sich, wie wir früher ausgeführt haben, vorzugsweise in den abgestossenen Ueberresten an.

der Pflanzenmasse in leichtlöslicher Form vorhanden sind, denn eine solche kann wohl für die meisten Aschenbestandtheile angenommen werden, namentlich im Vergleich zu der Schwerangreifbarkeit vieler Stoffe, die noch in unzersetzten Mineralien eingeschlossen sind.

Neben dieser Folge des Pflanzenwuchses für die Beschaffenheit der Ackererde, die wir kurzweg wie eine schon früher besprochene als eine *Ueberführung mineralischer Nährstoffe in eine der Pflanze leichter zugängliche Form* bezeichnen können, ist noch eine andere Folge der gleichen Verhältnisse und zwar eine Folge von hoher Wichtigkeit zu besprechen übrig, die als *Concentration der mineralischen Nahrung des Bodens* bezeichnet werden mag. Man muss sich daran erinnern, dass die Reste der Vegetation, soweit sie nicht Wurzelrückstände sind, obenauf zu liegen kommen, während die Aschenbestandtheile allen möglichen Orten des Bodens, bis wohin die Wurzelspitzen vorgedrungen sind, entnommen wurden. Eine derartige Concentration*) wird um so erheblicher sein, mit einem je ausgedehnteren und tief eindringenderen Wurzelsysteme die untergegangene Vegetation versehen war. Höchst unbedeutend wird sie sein bei seichtwurzelnden Gräsern, von grosser Wirksamkeit bei unseren Waldbäumen oder auch bei niedrigen Pflanzen, die wie die Lucerne ausserordentlich tiefgehende Wurzeln aussenden**).

Namentlich aber beim Wald hat dieser Sachverhalt sehr bedeutende praktische Folgen, und wesentlich auch aus diesem Gesichtspunkte ist es unter Anderem zu erklären, dass ein in Folge von Bodenarmuth unfruchtbares Terrain durch dauernde Waldkultur zu einiger Fruchtbarkeit gelangen kann. Wenn auch in diesem Falle der grösste Theil der vom Walde producirten Pflanzenmasse im Holze weggeführt wird, so entsteht doch auf der Oberfläche des Bodens durch Laubfall und dergl. nach und nach eine Humusschicht, in der neben einer Stickstoff- und Kohlensäure-Quelle auch eine Reihe von angesammelten Aschenbestandtheilen einer nun kommenden Vegetation zur Verfügung steht. Noch entschiedener muss aus demselben Gesichtspunkt die Möglichkeit einer periodischen Kornernte bei der Hackwaldwirthschaft beurtheilt werden, wo die Halmfrucht ihre Aschenbestandtheile im Wesentlichen den eingeäscherten Wurzelstöcken der geschälten jungen Stämme, also den durch Pflanzenwuchs an der Oberfläche der Ackerkrume concentrirten mineralischen Nährstoffen entnimmt.

Dies sind ungefähr die Einflüsse, welche die Vegetation selbst auf die Constitution der Ackererde ausübt, soweit sie sich bis jetzt übersehen las-

*) Die Möglichkeit einer derartigen Concentration wird wesentlich unterstützt durch eine eigenthümliche, gerade einer humosen Schicht in besonders hohem Grade zukommende Fähigkeit des Bodens, eine Anzahl von mineralischen Stoffen in zeitweise unlöslichem Zustande in sich zurückzuhalten. Von derselben soll in den beiden nächsten Vorlesungen die Rede sein.

**) In der That erweisen sich fast alle Ackererden in Folge dieses Verhaltens (und in Folge der oberflächlichen Einverleibung der Düngestoffe, die ja nur eine Nachahmung jenes Verhaltens ist) in ihren oberen Schichten reicher an den meisten in Säure löslichen pflanzlichen Nährstoffen, als im Untergrund, auch wenn man geradezu einen gelinden Raubbau getrieben hat; vergl. J. Nessler: Bericht der II. Wanderversamml. bad. Landw. u. s. w. Heidelb. 1867. p. 80.

sen, und wir haben somit in der Vegetation ein *viertes Moment* der Bodenbildung von sehr ausgedehnter Wirksamkeit, neben den drei andern vorher behandelten, erkannt. — *Beschaffenheit des bodenbildenden Gesteins, Verwitterung, Verschwemmung* und *der Pflanzenwuchs* selber sind die vier Momente der natürlichen Bodenbildung. Als fünftes tritt ein noch mannigfaltiger eingreifendes, die Kultur hinzu, und dieses wird uns später in einer ganzen Reihe von Vorlesungen beschäftigen.

Nur so viel sei hier im Anschluss an die ebenbesprochenen Verhältnisse bemerkt, dass der Eingriff menschlicher Thätigkeit, welcher der erste der beginnenden Kultivirung ist, das Wegnehmen eines Theils der producirten Pflanzenmasse und das Verschleppen desselben an andere Orte, wo er späteren Vegetationen nicht zugänglich ist, (ganz abgesehen von den Veränderungen, die an derselben durch das Passiren durch den thierischen Organismus bewirkt werden) die Wirksamkeit des vierten bodenbildenden Moments wesentlich verringert, da nun die hervorgebrachten pflanzlichen Stoffe nicht mehr oder wenigstens nicht mehr mit der früheren Vollständigkeit in den Boden gelangen. Hieraus lassen sich dann im Wesentlichen die üblichen Massregeln der Düngung ableiten, und dieselben können grossentheils als ein Correktiv gegen jenen den weiteren Pflanzenwuchs schädigenden Eingriff in den natürlichen Lauf der Dinge dargestellt werden.

Strenggenommen können nun auch an Pflanzenüberresten reiche Böden einer Verschwemmung unterliegen, und es kann somit von Neuem Anlass zur Trennung der einzelnen Bodenelemente, die nun nicht mehr alle rein mineralischer Natur sind, gegeben werden. Derartige Processe spielen aber in Wirklichkeit in Bezug auf Bodenbildung keine irgendwie bemerkenswerthe Rolle, und wir können desshalb mit dem Gesagten unsere Betrachtungen über natürliche Bodenbildung als abgeschlossen betrachten.

Achtundzwanzigste Vorlesung.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Absorptionserscheinungen. — Die Ursache derselben.

Die vier zunächst hinter uns liegenden Vorlesungen haben uns eingeführt in die früher verlaufenen und die jetzt noch sich vollziehenden Vorgänge, deren Resultat die Entstehung der Ackererde ist. Wir haben gesehen, dass die bei diesem Processe in's Spiel kommenden Faktoren ausserordentlich verschiedene sind.

Schon die *ursprüngliche Zusammensetzung derjenigen Gesteinsarten*, auf welche die mineralischen Bestandtheile aller Böden direkt oder indirekt zurückgeführt werden können, ist an den einzelnen Orten, wo jene zu Tage treten, eine ziemlich verschiedene, und so wickelt sich auch der *Verwitterungsprocess* trotz der sehr

gleichmässig (wenigstens über gleiche Zonen) verbreiteten atmosphärischen Verwitterungsmomente in sehr verschiedener Weise ab.

Von dem grössten Einfluss aber auf die spezifischen Eigenschaften eines jeden Bodens ist die *ungleichmässige Verschwemmung und Ablagerung der einzelnen zu seinem Aufbau verwendeten Bodenbestandtheile*, welche von der ungleichen oberflächlichen Beschaffenheit der Erdoberfläche, d. h. von der Neigung der Bodenfläche an verschiedenen Orten, und von der bewegenden Kraft des Wassers bedingt ist, und sind einmal so tiefgreifende Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit erlangt, so tritt meistens noch der *Pflanzenwuchs,* mit seinem bodenbildenden Momente, jene Verschiedenheit mehr und mehr schärfend hervor, da von schon an sich sterilen Bodenflächen die Pflanzendecke nur ungern Besitz ergreift.

Die Verschiedenheit, die thatsächlich hinsichtlich der Vegetationsbedingungen des Bodens auf oft einander naheliegenden Flächen besteht, ist uns somit leicht verständlich. — Allein wir werden diese Bedingungen noch mehr in ihren Einzelheiten formuliren müssen, um das Verhalten des Bodens zur Vegetation und so auch die einzelnen wirthschaftlichen Massregeln, durch welche man sich, jene Bedingungen abzuändern, bestrebt, völlig zu verstehen.

Die Vegetationsbedingungen, die durch Zusammensetzung und Eigenschaften der Ackererde repräsentirt werden, sind so complicirter Natur, dass bei Behandlung dieses Gegenstandes eine wohlgeordnete Eintheilung Noth thut, um eine klare Uebersicht zu ermöglichen. Vorerst ist streng auseinander zu halten, die Ackerkrume als *Ernährerin der Pflanze* und dieselbe als *Sitz oder Vermittlerin einer Reihe von physikalischen Verhältnissen*, die von Werth für die Vegetation sind; oder, wie man sich auch ausdrücken kann, das *Bodenreservoir* und der *Bodenapparat.* Das vielfache Missglücken der Wasserkulturversuche z. B., von dem wir früher gesprochen haben, kann wesentlich dem Fehlen der Ackerkrume in dieser letzteren Eigenschaft zugeschrieben werden, da für die Ernährung schliesslich doch in sehr vollkommener Weise gesorgt war, und nur, wenn man es erreichte, auch jene physikalischen Bedingungen ohne Ackerkrume auf einer Reihe von Umwegen herzustellen, konnte man es zu üppigen, wenn auch vielleicht nicht zu völlig normalen Vegetationen bringen. Dies einfache Beispiel genügt, um uns die beiden grossen Reihen von Funktionen, welche das Medium der Ackererde der Pflanze gegenüber auszuüben hat, klar vor Augen zu führen.

Wenden wir uns der Betrachtung der Ackererde *als Ernährerin* zu, so liegt auf der Hand, dass die hier einschlagenden Eigenschaften derselben durch ihre chemische Zusammensetzung gegeben sein müssen; aber wenn wir uns der ausführlich behandelten Gesetze der Stoffaufnahme erinnern und gleichzeitig einer Reihe von Thatsachen, die wir bei Besprechung der Bodenentstehung kennen gelernt haben, so werden wir hinzusetzen müssen, unmöglich durch diese Zusammensetzung, wie sie die chemische Pausch-Analyse ergibt, *allein,* sondern natürlich auch durch die nähere Gruppirung der einzelnen Stoffe, durch die chemische Form der einzelnen Bestandtheile.

Wir können zwar mit Gewissheit aussprechen, dass ein Boden, in dem wir durch die chemische Analyse keine Spur von Kali, von Magnesia oder von Phosphorsäure nachweisen können, absolut unfruchtbar sein wird, da alle zu kultivirenden Pflanzen

nothwendig dieser Stoffe zu ihrem Gedeihen bedürfen. Der umgekehrte Schluss aber, nach dem ein Boden, in dem alle einzelnen Nährstoffe in genügenden Mengen nachgewiesen werden können (und der nachweisbar keine dem Pflanzenwuchs schädlichen Stoffe, keine ungünstigen physikalischen Bedingungen in sich enthält), ohne Weiteres als ein fruchtbarer zu bezeichnen wäre, ist in dieser allgemeinen Form als unzulässig zu verwerfen; denn nicht alle Nährstoffe, die in der Erde vorhanden sind, können in Bodenwasser gelöst werden, sondern viele derselben sind möglicher Weise Bestandtheile noch unverwitterter und sehr schwer zersetzbarer Minerale, und auch die lösende Kraft der Pflanzenwurzel ist viel zu gering, um alle jene Minerale erheblich anzugreifen, resp. ihre Verzweigung zu unvollkommen, um mit genügend vielen Mineralstückchen in Berührung zu kommen.

So kommt es, dass die Pausch-Bodenanalyse nur Fingerzeige bieten kann und entfernt nicht als *exaktes Mass* *) zu dienen vermag für die Leistungsfähigkeit einer Ackererde als Pflanzenernährerin; und auch das erstere kann sie nur leisten, wenn dem Urtheilenden eine genügende Erfahrung zu Gebote steht, über die durchschnittliche Zusammensetzung anderer Ackererden.

Es lässt sich denken, dass man zu der Zeit, wo man eben die Hauptsätze der Pflanzennährung erkannt aber noch nicht über die Verhältnisse im Boden und über die Beziehungen zwischen Wurzel und Boden einen klaren Blick gewonnen hatte, mit freudiger Hast Bodenanalysen auf Bodenanalysen **) unternahm in der Hoffnung, so eine exakte Grundlage zu finden ***) nicht blos für Bodentaxation und Bonitirung, die bekanntlich noch immer in rein empirischer Weise vorgenommen wird, sondern auch für eine rationelle Düngerwirthschaft. — Aber wie gross war die Enttäuschung, die man erleben musste! — Ein Glimmerschieferboden von äusserster Sterilität ergab vielleicht 3 % Kali, der an Fruchtbarkeit unübertroffene Nilschlamm ½ %, und dennoch zeigte sich ersterer vielleicht ausserordentlich dankbar gegen Kalidüngung, bei letzterem erschien eine Steigerung der Erträge durch Düngung fast undenkbar.

Wir wissen, warum ein derartiges Bestreben eine herbe Enttäuschung erfahren musste, und suchen in dem gewählten Beispiele die Ursache in der unangreifbaren Form, in dem das Kali im Glimmer des Glimmerschiefers vorhanden ist; und die Sache

*) Dass der Reichthum eines Bodens an einzelnen Pflanzennährstoffen, wie z. B. an Phosphorsäure, als Massstab für die Bonitirung gelten kann, (vergl. Annal. d. Chemie u. Pharm. Suppl. VI. p. 332 u. Jahresber. f. Agrikult. chemie 1866. p. 44) muss als eine seltene Ausnahme gelten.

**) Bodenuntersuchungen sind zwar schon in sehr viel früherer Zeit unternommen worden, lange vor der Periode, wo man befähigt war, von pflanzlichen Nährstoffen als von ganz bestimmt fassbaren, chemisch definirbaren Substanzen zu sprechen, einfach deshalb, weil der Zusammenhang zwischen gewissen Eigenschaften eines Bodens und dessen Ertragsvermögen gar zu auffällig war und auch dem rohen Empiriker nicht entgehen konnte. Indessen konnte erst in jener späteren Periode, wo eine nahezu vollkommene Klarheit wenigstens über alle die Stoffe, die eine höhere Pflanze zu ihrem Wachsthum nothwendig bedarf, herrschte, von der ganz bestimmten Hoffnung die Rede sein, völlig unmittelbar aus der Zusammensetzung eines Bodens dessen Fähigkeit, Pflanzen zu produciren, durch einen einfachen Kalkul zu ermitteln.

***) Davy war wohl der erste, der diese bestimmte Hoffnung erweckte, (vergl. dessen Elemente d. Agric. Chemie. 1814. p. 3), — aber damals mit vielem Rechte.

in der That ist so einfach, dass man auch wirklich bald den Grund des Misserfolgs erkannte. Man unternahm nun, bei den vorzunehmenden Analysen zu unterscheiden zwischen leicht-löslichen und schwer-löslichen Stoffen, zwischen solchen, die der Pflanze zugänglich sein sollten, und anderen, die von ihr nicht aufgenommen werden könnten. — Man untersuchte die in den Boden circulirenden Lösungen von dem Gedanken ausgehend, dass diese allein die für die Pflanzen zugänglichen Stoffe enthalten könnten. Aber auch mit dem auf diese verschiedene Arten nachgewiesenen Gehalte an Pflanzennährstoffen, wollte das für die Vegetation erfahrungsmässig zur Verfügung Stehende nicht stimmen. Manche Mineralstoffe, die von den Pflanzen in grosser Menge assimillirt wurden, konnten z. B. gar nicht in der Bodenlösung nachgewiesen werden u. s. w.*)

Erst später, als man klar erkannt hatte, dass die Bodenlösung Nichts Feststehendes sei, dass vielmehr dieselbe mit den ungelösten Theilen des Bodens in unausgesetzter Wechselwirkung stände, dass je nach Zunahme oder Abnahme des Wasserreichthums irgend eines Bodens bis dahin ungelöste Bestandtheile in die Lösung übergingen oder aus dieser Lösung wieder fixirt würden, — als man weiter eingesehen hatte, dass die durch Wasser nicht ausziehbaren Bestandtheile nicht sammt und sonders für die Pflanzenwurzel unzugänglich seien, dass diese letztere vielmehr durch selbstständige Thätigkeit ungelöste Stoffe in Lösung überführe, gab man die Hoffnung auf, mit so einfachen Mitteln die unmittelbare Nährfähigkeit eines Bodens bestimmen zu können.

Allein man experimentirte weiter. Man unternahm es, die Erden zur Ermittelung ihres Reichthums an für die Pflanzenwelt verfügbaren Stoffen mit stärker angreifenden Lösungsmitteln, mit verdünnten und concentrirteren Säuren, mit Salzlösungen etc. zu behandeln, in der Hoffnung, durch Probiren ein Lösungsmittel ausfindig zu machen, das ungefähr Dasselbe leiste wie eine gesunde Pflanzenwurzel.**) Wenn nun schon von vorneherein gesagt werden konnte, dass die so gestellte Frage nicht in allgemeiner Weise zu beantworten war, da einer jeden Pflanzenspecies und selbst einem jeden Pflanzenindividuum eigenthümliche Kräfte in jener Hinsicht zu Gebote stehen, so ist doch auch die Hoffnung, sich auf jene Weise nur ein ungefähres Bild von dem in der Erde für ein Gewächs mittlerer Lösungsenergie Verfügbaren zu verschaffen, nunmehr als fast völlig gescheitert zu betrachten. — Es ist vielleicht Nichts mehr im Stande zu zeigen, dass es so aussichtslos mit der Bodenanalyse in der erwähnten Richtung steht, als dass heute von Seiten der einsichts-

*) Dies gilt z. B. für die Phosphorsäure, die in vielen Bodenlösungen nicht oder nur in äussersten Spuren nachgewiesen werden kann.

Vergl. auch die Bemerkungen von Peters: Preuss. Annal. d. Landw. Monatsbl. 1870. p. 29.

**) Man übersah zu Beginn dieser Bestrebungen (und in noch viel späterer Zeit) freilich die sich ganz von selbst aus den Gesetzen der Stoffaufnahme ergebende Thatsache, dass eine viel grössere Menge von Nährstoffen in der Zeiteinheit zur Aufnahme disponibel sein muss, als wirklich von der Wurzel aufgenommen werden kann, und dass das Verhältniss beider Grössen, welches doch, um jene Schlussfolgerungen ziehen zu können, bekannt sein müsste, kein für alle Pflanzen constantes, sondern von spezifischen Eigenthümlichkeiten der Bewurzelung abhängig sein muss.

volleren Chemiker*) geradezu der Vorschlag gemacht wird, das *von gewissen Pflanzen Aufgenommene* als Massstab des für die Pflanzen Verfügbaren gelten zu lassen, d. h. also die roh empirische Erkenntniss an Stelle der theoretischen Deduktion zu setzen, — den Bankerott der Theorie in dieser Hinsicht als vollständig zu erklären.

Und so steht es in der That. — Die Bestrebungen, die Bodenanalyse noch in der ursprünglichen Richtung weiter auszubilden, sie zum Massstab der vorhandenen Bodenfruchtbarkeit zu machen, stehen mehr und mehr vereinzelt**) da. Fast Jedermann hegt die Meinung,***) dass die thatsächlichen Verhältnisse der Vorgänge im Boden und der Ernährung der Pflanzen viel zu complicirte seien, um die früher gehegten Hoffnungen noch aufrecht zu erhalten. — Heute dient die chemische Bodenanalyse nur noch dazu, Fragen sekundärer Art zu beantworten; sie gibt uns in vielen Fällen z. B. an, was von einem Boden in zukünftigen Zeiten etwa erwartet werden kann, sie sucht Ursachen auf für eine beobachtete absolute Unfruchtbarkeit und vermag so, zusammengehalten mit gewissen praktischen Erfahrungen, mit der mechanischen Analyse u. s. w. wichtige Anhaltspunkte zu geben;†) aber nirgends dient sie als ein direkter Massstab der Fruchtbarkeit. Man kommt sogar ohne alle Widerrede viel weiter, wenn man einen Boden nach seinem äussern Ansehen auf seine Ertragsfähigkeit abschätzt, als wenn man diese lediglich aus den analytisch ermittelten Zahlen herauszurechnen sucht. Dem entsprechend wendet man jetzt zur Bodenanalyse in der Regel nicht schwache verdünnte Säuren an, die in ihrer Lösungskraft der Aufnahmsfähigkeit der Wurzel gleichkommen sollen, sondern concentrirtere, die jedenfalls Alles Das aufnehmen, was für die Wurzel noch irgend in Betracht kommen kann, eben weil man auf jene direkte Schlussfolgerung von vorneherein verzichtet.

Die Geschichte der Entwickelung††) der Bodenanalyse und unserer Anschauungen über deren Verwendbarkeit zeigt mit vollkommener Klarheit, dass die chemische Zusammensetzung eines Bodens zwar, wie Dies nicht anders sein kann, eines der Elemente der ernährenden Eigenschaften des Bodens ist, dass aber dieses Verhältniss durch andere Umstände, als welche wir vorzüglich die nähere chemische Gruppirung bezeichnen können, bis zur Unkenntlichkeit verdeckt wird.†††)

*) Vergl. z. B. die Vorschläge Hellriegels: Landw. Versuchsst. 1869. p. 140.

**) Birner hat unter den Chemikern auf der Agrikulturchemiker-Versammlung zu Halle 1869 ganz allein diesen Standpunkt vertheidigt (vergl. Landw. Centralbl. 1869. II. p. 249).

***) Die neueren Ansichten von Liebig über den Werth der Bodenanalyse stimmen mit dieser Auffassung vollkommen überein (siehe die Chemie in ihrer Anw. u. s. w. 1862. II. p. 231, 232).

†) So kann man beispielsweise, wenn die Analyse viel Kali nachweist, das Auftreten gewisser Unkräuter aber und ebenso das Fehlschlagen gewisser Kulturen auf Mangel an verfügbarem Kali deutet, vielleicht zu Massregeln getrieben werden, dieses Kali in Lösung überzuführen, während man ohne Analyse zur Kalidüngung gegriffen haben würde. — Ueberhaupt ist ja der Werth der Analyse, wenn man nur alle übrigen Beurtheilungsmomente gleichzeitig mit benutzt, in keiner Weise zu verkennen.

††) Vergl. auch Mulder: Chemie d. Ackerkrume. III. p. 353 u. f.

†††) Ueber die zur Zeit üblichen und vereinbarten Methoden der chemischen Bodenanalyse siehe E. Wolff: Anleitung zur chemischen Untersuchung u. s. w. 1867. p. 7—49.

Wir haben uns also in unserer Betrachtung diesem letzteren Gegenstande zuzuwenden. Dieser kann indessen jedenfalls keine einheitliche Behandlung finden, ehe wir einer auf den ersten Blick sehr merkwürdig erscheinenden Eigenschaft aller fruchtbaren Bodenarten Erwähnung gethan haben, der sogenannten „*Absorption der Ackererde*". Diese Eigenschaft besteht in Kurzem darin, gelöste Stoffe sehr verschiedener Art, vorzüglich aber unorganische Substanzen, unter ihnen eine Reihe von Pflanzennährstoffen, in sich niederzuschlagen, so dass die durchfiltrirende Lösung weit ärmer an diesen gelösten Stoffen wieder aus der Erde austritt. Diese Eigenschaft, die wir sogleich einem näheren Studium auf Ursache und Wirkung unterwerfen werden, steht mit der Stoffassimilation der Pflanzenwurzel unter den realen Verhältnissen der Ernährung der Gewächse in so inniger Beziehung, dass von einer klaren Vorstellung dieser Ernährung nicht die Rede sein konnte, bevor man eine genaue Kenntniss der hier einschlagenden Thatsachen erworben hatte.

Es war der als tüchtiger Oenolog und Rebzüchter bekannte Apotheker Bronner in Wiesloch bei Heidelberg, der zuerst*), und zwar sogleich mit klaren Worten und wie es scheint, im Bewusstsein der Tragweite seiner Entdeckung das Vorhandensein der Eigenschaft der Ackererde, die später als Absorption bezeichnet wurde, behauptete.**)***) Wir setzen seine Worte, da sie noch jetzt die Sache in ihrer Wesenheit ausdrücken, hierher.†)

> „Man fülle eine Bouteille, die an ihrem Boden ein kleines Loch hat, mit „feinem Flusssande oder halbtrockner gesiebter Gartenerde an. In diese Bou„teille giesse man allmälig so lange dicken und ganz stinkenden Mistpfuhl, bis „die ganze Masse durchdrungen ist; die aus der unteren Oeffnung hervorkom„mende Flüssigkeit wird fast geruchlos und farblos erscheinen und die Eigen„schaften des Pfuhls ganz verloren haben."

und dann weiter unten:

> „Diese wenigen Beispiele beweisen hinreichend, welche Fähigkeiten die Erden, „selbst Sand und Sandsteine, besitzen, die extraktiven Theile anzuziehen und „völlig aufzunehmen, ohne sie wieder durch das nachrückende Wasser loszu„lassen, selbst die auflöslichen Salze werden aufgenommen, und nur ein ge„ringer Theil durch nachrückendes Wasser abgespült."

und ferner:

> „Ich glaube also durch die beigefügten Thatsachen hinreichend bewiesen zu „haben, dass die Wirkung des Düngers nicht so weit eingehe, als manche

*) Vergl. indessen die Anm. der folgenden Vorlesung p. .

**) Vergl. Bronner: Der Weinbau in Süddeutschland, Heidelberg 1836, p. 11.

***) Man ist zwar in Bezug auf die Entdeckung der Absorption der Ackererde noch viel weiter zurückgegangen (vergl. Knop: Kreislauf d. Stoffs. I. p. 494, und wohl auf diese Autorität hin auch Wichelhaus: Lebensbeding. d. Pflanze. 1868. p. 13), nemlich auf Aristoteles. Allein Aug. Vogel hat (vergl. Entwickl. d. Agrikulturchemie 1869, p. 40, 41) mit Unterstützung durch einen Kenner des Aristoteles gezeigt, dass die betreffenden Stellen sich nicht deutlich in dem ihnen unterlegten Sinne aussprechen.

†) Fr. Mohr hat zuerst auf Bronner's Entdeckung, nachdem dieselbe schon Späteren zugeschrieben worden war, aufmerksam gemacht; vergl. Annalen der Chemie und Pharm. B. 127. p. 127.

„glauben, sondern dass sie näher dem Bereiche der Oberfläche stehe, als der „Sohle des Bodens."

Obgleich nun Bronner eine Reihe von Versuchen angestellt hatte, so hat er doch natürlich den von ihm entdeckten und in seiner Wichtigkeit für die Theorie der Pflanzenernährung im Boden und der Düngung völlig erkannten Vorgang nicht hinsichtlich der ihm zu Grunde liegenden Ursächlichkeit bearbeitet, sondern begnügte sich, als ein der Praxis näherstehender Mann, mit dem deutlichen Hinweis auf denselben.

Die Entdeckung Bronner's war nur in dem genannten kleinen Werke von ziemlich lokaler Bedeutung mitgetheilt worden, hatte dort begreiflicher Weise keine besondere Aufmerksamkeit erregt und war für ein grösseres und wissenschaftlicheres Publikum als gänzlich verschollen zu betrachten, als die gleiche Entdeckung von Neuem in England gemacht wurde. — Es waren zwei Männer Huxtable und Thompson, die erst ein Decennium später die gleiche Beobachtung wie Bronner machten und veröffentlichten. Der erstere hatte auch nur die Veränderung der durch Gartenerde filtrirten Mistjauche wahrgenommen, letzterer dagegen einen entschiedenen Schritt vorwärts gemacht, indem er ausserdem die Absorption für chemisch genau definirbare Substanzen und wichtige Pflanzennährstoffe, nemlich für freies Ammoniak und Ammoniaksalze festgestellt hatte. *)

Der erste aber, der die in Rede stehende Erscheinung theoretisch bearbeitete, war (kurz nach der Entdeckung derselben in England) Way. Von diesem Forscher liegen nicht blos eine grosse Reihe von Versuchen **) mit Lösungen von sehr verschiedenen Substanzen vor, derselbe hat auch zur Erklärung der merkwürdigen Erscheinung ein gutes Stück beigetragen.

Way prüfte eine Reihe von Erdarten auf ihr Absorptionsvermögen, eine Reihe von pflanzlichen Nährstoffen und ähnlichen Mineralsalzen auf ihre Absorbirbarkeit; ***) er zeigte, dass Kali und Ammoniak in der Weise durch Ackererden absorbirt werden, dass, wurden sie in Form von Salzlösungen aufgegeben, die abfliessende Flüssigkeit einen Theil ihres Kali- oder Ammoniakgehalts verloren hat, dass aber die Salpetersäure, Schwefelsäure, Salzsäure, an welche jene Basen gebunden waren, in jener in unveränderter Menge aufgefunden werden, aber an Stelle des Kalis oder Ammoniaks nun theilweise an eine andere Base, vorzugsweise an Kalk gebunden. Wir haben es also in diesem Falle mit einem wahren chemischen Austausch zweier Basen zu thun; die eine wird in die Constitution der Ackererde aufgenommen, die andere dafür abgegeben. Es ist wichtig, dabei hinzuzusetzen, dass die Menge der für die absorbirte Base an die Lösung abgegebenen Base, wie spätere Untersuchungen unzweideutig gelehrt haben, weit grösser ist, als schon durch Auswaschen mit einer entsprechenden Menge Wasser erhalten werden kann.

Die Versuche Way's lehrten weiter, dass auch freies Kali und Ammoniak, in Lösungen mit dem Boden in Berührung gebracht, absorbirt werden, dass Phosphor-

*) Vergl. Journ. of the Roy. Agric. Soc. 1850. T. XI. p. 68.

**) Vergl. ebenda T. XI. p. 313 u. T. XV. p. 491.

***) Aus dem hier gemachten Gebrauch von den Wörtern „Absorptionsvermögen" und „Absorbirbarkeit" ergibt sich der Sinn, in welchem ihre Anwendung in diesem Werke erfolgen wird.

säure desgleichen festgehalten wird, und dass für Salze, deren Basen und Säuren gleichzeitig absorbirbar sind, wie z. B. für phosphorsaures Kali und Ammoniak auch selbstverständlich an den austretenden Flüssigkeiten keine Wechselzersetzung wahrzunehmen ist. Auch für Natron-, Magnesia- und Kalksalze ist von Way Absorption nachgewiesen worden.

Es würde uns zu weit führen, auf die Einzelheiten dieser Versuche einzugehen, da dieselben an Vollständigkeit durch spätere weit überholt worden sind. Wichtig aber sind die Erklärungsversuche Way's; an sie knüpfen sich Kontroversen von grosser Tragweite für unsere Vorstellungen vom Wesen der ganzen Absorptionserscheinungen an. Derselbe fasste den ganzen beobachteten Vorgang als eine chemische Reaktion zwischen Erde und Lösung auf und stellte sich die Frage, welche chemischen Bestandtheile der Ackererde wohl der Sitz und die Ursache jener Reaktionen seien. — Es wurden Versuche unternommen über die Absorptionskräfte künstlich dargestellter chemischer Verbindungen, deren Vorhandensein in der Ackererde mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden konnte, und siehe da, es zeigte sich, dass eine Reihe von wasserhaltigen Doppelsilicaten, bestehend aus kieselsaurer Thonerde einerseits und der kieselsauren Verbindung der Basen, für welche Absorbirbarkeit in der Ackererde festgestellt worden war, andererseits, leicht herzustellen waren, und dass diese Doppelsilicate die Fähigkeit hatten, diese Basen auszutauschen, wenn sie mit einer Salzlösung einer anderen Base in Berührung gebracht wurden. Auf die Entstehung von dergleichen Verbindungen und deren chemische Umgestaltung wurden dann die Absorptionserscheinungen zurückgeführt, dieselben also als *rein chemische Vorgänge* aufgefasst. Die verschieden starke Absorption für die einzelnen Basen wurde einfach aus der verschieden grossen Affinität des Rests jener Doppelsilicate zu den einzelnen Basen erklärt und sogar eine Verwandtschaftsreihe der verschiedenen Basen aufgestellt, in Bezug auf die übrigens ein erhebliches Schwanken*) in der Meinung des Experimentators sich geltend machte.

Wir müssen hier schon kurz darauf hindeuten, dass die spätern ausserordentlich umfassenden Arbeiten über Absorption nach langen Irrwegen wieder auf das Wesen der Way'schen Erklärung zurückgeführt haben, wenn man auch häufig andere chemische Reaktionen als die von diesem angenommenen als wesentlich für die eine oder die andere Absorptionserscheinung erkannte. So kann ja nicht verschlossen bleiben, dass z. B. der eben angedeutete Way'sche Erklärungsversuch die Phosphorsäure-Absorption ganz und gar nicht berücksichtigt.

Der weitere geschichtliche Verlauf der einschlagenden Entdeckungen und theoretischen Entwickelungen ist nun folgender:

Liebig war in Deutschland der Erste, der die Wichtigkeit der Way'schen Arbeiten für die Theorie der Pflanzenernährung im Boden und der Düngung erkannte.**) Derselbe unternahm eine umfangreiche Untersuchung,***) in der die Way'schen

*) Vergl. die Bemerkung Heidens über diesen Gegenstand (Düngerlehre I. p. 269).

**) Keineswegs der Erste, der dieser Erscheinung in Deutschland Erwähnung that. Schon in der „Phytochemie" Rochleders, die im Jahre 1854 erschien, ist von den Absorptionskräften der Erde, wie von einem längst bekannten Dinge (freilich nicht unter diesem Namen) die Rede; vergl. p. 334 des genannten Werkes.

***) Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 105. p. 109.

Resultate geprüft, bestätigt und in mehreren Richtungen erweitert wurden. Namentlich wurden von Demselben ausgedehntere Versuche über Absorption von Phosphorsäure und von kieselsaurem Kali unternommen. Für die Absorption des kieselsauren Kali wurde unter Anderem festgestellt, dass durch Zumischen von kohlensaurem Kalk zu manchen Erden, die an sich schon das Kali stark absorbiren, die Aufnahme der Kieselsäure gesteigert werden könne, dass sehr humusreiche Erden das Kali allein, nicht aber die Kieselsäure festhalten, dass endlich das Thonerdehydrat das Kaliwasserglas in ausserordentlich grossen Mengen absorbire. Kurz, derselbe ermittelte mit grosser Deutlichkeit eine Reihe neuer Absorptionserscheinungen, denen der Charakter einer chemischen Reaktion so unläugbar aufgeprägt ist, dass man den Verlauf des Chemismus fast unmittelbar versteht.

Allein Liebig*) nimmt Anstand an den Way'schen Erklärungsversuchen, er weist auf Resultate seiner eignen Experimente hin, welche anzudeuten schienen, dass die verschiedene Zusammensetzung der einzelnen zu seinen Versuchen verwendeten Bodenarten die Kaliabsorption nicht merklich alterire, dass dieselbe nicht mit dem Thongehalt dieser Erden parallel gehe, und dass Dies doch nach der Way'schen Erklärung hätte vorausgesetzt werden müssen, und neigt**) zu einer wenigstens theilweise physikalischen Anschauung des ganzen Vorgangs.

Die wichtigen Schlüsse, die Liebig aus seinen und Way's Absorptionsversuchen in Bezug auf die Pflanzenernährung im Boden zog, und an die sich hauptsächlich der späterhin geführte langathmige Streit anknüpfen sollte, übergehe ich einstweilen noch mit Stillschweigen, indem ich der Einfachheit der Darstellung wegen es vorziehe, erst die Frage nach der Natur der Absorptionserscheinungen, hinsicht-

*) Derselbe hatte schon früher die Way'schen Erklärungsversuche, ohne damals die Bedeutsamkeit von dessen Resultaten zu erkennen, in ziemlich schnödem Tone abgefertigt (vergl. Liebig: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 94. p. 373). Es ist Dies dieselbe Abhandlung, die mit den bekannten Worten schliesst: „Durch agrikulturchemische Versuche dieser Art kann wahrlich der Landwirthschaft nicht genützt werden."

**) Ich sage, neigt zu einer physikalischen Anschauung, denn Liebig ist in Bezug auf eine derartige Schlussfolgerung vorsichtig und vielleicht etwas unentschieden. Es ist wegen Missverständnissen, die sich in dieser Hinsicht eingeschlichen haben, durchaus nothwendig, hierauf aufmerksam zu machen. Man vergl. a. a. O. p. 111, wo von dem Way'schen Erklärungsversuche die Rede ist:

> „Diese letztere Ansicht, nach welcher die beschriebene Wirkung der Ackererde auf einer rein chemischen Ursache beruhen und sich daraus erklären würde, besitzt, wie ich glaube, keine allgemeine Gültigkeit; denn das reine Thonerdehydrat besitzt die Eigenschaft, kohlensaures Kali und Ammoniak zu absorbiren, im höheren Grade als die Ackererden."

Ferner p. 120 ebenda:

> „Die chemischen Beziehungen zeigen sich deutlich in dem Verhalten der Kalisalze zu den Ackererden und ihrer Umsetzung in Kalk und Magnesiaverbindungen."

Dagegen p. 134:

> „In dem Boden sind diese Stoffe in einem ähnlichen Zustande, wie etwa Farbstoffe in der Kohle oder Jod in Jodstärkemehl enthalten u. s. w.",

wo diese chemischen Beziehungen wieder völlig geläugnet erscheinen und jedenfalls den Ackererden als solchen spezifische Fähigkeiten, ganz abgesehen von ihrer Zusammensetzung, zugeschrieben werden.

sich welcher Way eine ganz bestimmte Anschauung ausgesprochen hatte, die dann von Liebig in Zweifel gezogen worden ist, soweit als möglich nach dem übrigen noch vorliegenden Untersuchungsmaterial zu beantworten.

Liebig hatte auch in Bezug auf den Gegenstand der Bodenabsorption eine weithin zündende Anregung gegeben; er verstand wie keiner vor ihm die ganze Bedeutung und Tragweite der von ihm experimentell bearbeiteten Erscheinungen, und desshalb vermochte er auch hier jene eindringliche, ja überwältigende Sprache zu reden, die seine Schriften so vortheilhaft kennzeichnet. Männer, die sich schon im Jahre 58 mit den landwirthschaftlich-naturwissenschaftlichen Fragen beschäftigten, haben mir den tiefen Eindruck geschildert, den die Liebig'sche Abhandlung über Bodenabsorption in ihnen hervorgerufen habe; und diese, ich möchte wohl sagen, „moralische“ Bedeutung des Liebig'schen Auftretens wird hier wie an vielen andern Orten nicht geläugnet werden können, wenn es auch der scharf prüfenden Kritik immer mehr und mehr gelingen sollte, das eigentlich Greifbare seiner Leistungen, das in einem in sich abgeschlossenen Satze fertig dargestellt werden könnte, in ein Nichts aufzulösen.

So kommt es, dass die eigentliche fruchtbare Behandlung*) der aufgeworfenen Fragen erst in Deutschland durch jene Liebig'sche Abhandlung selbst hervorgerufen wurde. — Nun aber warf sich Alles mit Begeisterung auf diesen neuen Gegenstand, von dem man so viel Aufklärung für ein bis dahin dunkles Gebiet erwartete, und das Decennium nach dem Erscheinen des Liebig'schen Aufsatzes, der den Anstoss gegeben hatte, ist ausserordentlich reich an tüchtigen und umfangreichen Arbeiten über die Bodenabsorption. Es kann nun entfernt nicht in dem Sinn der hier zu gebenden Darstellung liegen, jene Arbeiten alle in ihren Einzelheiten zu verfolgen und jede derselben nach ihrem Verdienste würdigen zu wollen, sondern wir werden zunächst nur die Versuchsresultate in ihren allgemeinsten Umrissen**) und lediglich zu dem Zwecke zu behandeln haben, den wir uns in erster Linie vorgesetzt, nemlich soweit sie uns zur Aufklärung der Ursache der Absorptionserscheinungen dienen können.

Schon Völcker, der kurz vor Liebig eine Abhandlung über Absorptionserscheinungen veröffentlichte, hat wieder auf die chemische Natur derselben aufmerksam gemacht. Derselbe wies nach,***) dass die schweren, thonhaltigen Böden stärkere Absorption zeigten, wie die leichten sandreichen, und stimmt den Way'schen Schlüssen vollkommen bei, die nicht dem Thone an sich, aber wohl gewissen Verbindungen, in denen Thonerde ein charakteristischer Bestandtheil ist, Absorptions-

*) Nur eine Arbeit über Absorption fällt der Zeit nach zwischen Way's und Liebig's Veröffentlichungen, nemlich eine von Völcker (im Ausz. Wilda Centralbl. 1858. p. 1).

**) Ich sehe hier von einer umfassenden und kritischen Behandlung aller der einschlagenden Arbeiten um so lieber ab, als Heiden in seiner Düngerlehre eine sehr vollständige Zusammenstellung derselben gegeben hat, und nach meiner Ansicht zugleich bewiesen hat, dass diese Vollständigkeit nicht gerade dem Lehrzwecke seines Buches vortheilhaft war. Ich habe bei meiner Darstellung diesen letzteren immer als obersten Gesichtspunkt im Auge behalten und erachte es daher für besser, mich hier der Veröffentlichung des bereits vor Jahren von mir gesammelten und kritisch zusammengestellten Materials zu enthalten.

***) Vergl. a. a. O. p. 8.

fähigkeit beilegen; er denkt nicht entfernt daran, der Ackererde an sich, gleichviel aus welchen Bestandtheilen sie zusammengesetzt sei, eine derartige Befähigung beizulegen.

Ganz anders in Deutschland. Hier war einmal von einer grossen Autorität der Gedanke an eine „physikalische Absorption*) ausgesprochen"; — Grund genug für eine ganze Reihe nachkommender Experimentatoren, das Bestehen einer solchen Erscheinung über allen Zweifel erhaben zu wähnen. Wir werden sehr bald die Zergliederung der damit verbundenen Vorstellung vornehmen und prüfen, in wie weit experimentelle Daten zu einer solchen berechtigen.

Henneberg und Stohmann, deren Arbeit**) über die Bodenabsorption in mehrfacher Beziehung sehr wichtige Thatsachen zu Tage gefördert hat, schliessen unter Anderem, dass „um die Absorptionserscheinungen der Ackererden zu erklären, nicht überall die Annahme chemischer Zersetzungen nach den Regeln der Affinität ausreichend" sei. Brustlein, dessen Untersuchungen***) uns auch mit einzelnen neuen Daten bereichert haben, meint in seinen Schlussfolgerungen: „Die Absorptions-„fähigkeit der Ackererde für Ammoniak hängt beinahe ausschliesslich ab von der „physikalischen Beschaffenheit der Mineralsubstanzen und der organischen Stoffe, die „sie zusammensetzen etc." Am Entschiedensten jedoch wird diese Ansicht von Peters auf Grund einer sehr verdienstvollen Arbeit†) vertreten; von ihm wird geradezu die Schlussfolgerung††) ausgesprochen: „Die Absorption ist bedingt durch „Flächenanziehung, welche die Molekule der Erde ausüben. Zu der Absorption von „Basen aus Salzen ist eine chemische Umsetzung mit den Bestandtheilen der Erde „nothwendig, welche durch die Mitwirkung der grossen, von der Erde auf die Basis „ausgeübten (prädisponirenden) Anziehung ermöglicht wird." Dies ist, wie gezeigt werden soll, eine Consequenz, zu deren Berechtigung in den experimentellen Daten der Arbeit durchaus kein genügender Grund erkannt werden kann.

In ähnlicher Weise wiederholen sich nun die Schlussfolgerungen, die aus den später angestellten Arbeiten gezogen werden.†††) Rautenberg§) legt zwar wieder etwas mehr Gewicht auf den Chemismus bei dem ganzen Vorgang, aber auch er spricht von den „mechanischen Einflüssen." Etwas ganz Aehnliches kann auch von Heiden§§) gesagt werden, der trotzdem, dass seine Versuche als sehr gute Belege dafür benutzt werden können, dass vorzugsweise chemische Reaktionen in Betracht kommen, sich sehr vornehmlich für die mechanische Anschauung des Vorgangs neben der chemischen ausspricht. Sachs hat in seinem (öfters citirten) Handbuch§§§) die Ansicht von der mechanischen Absorption völlig adoptirt, und auch Knop, der die

*) Liebig hat zwar, so viel ich sehen kann, diesen Ausdruck noch nicht gebraucht.

**) Vergl. Chem. Centralbl. 1858. p. 738; Journ. f. Landwirthsch. 1859. p. 25.

***) Vergl. Annal. de Chim. et de Phys. 1859. p. 157.

†) Vergl. Landw. Versuchsst. 1860. p. 118.

††) Vergl. ebenda p. 151.

†††) Eine übersichtliche Zusammenstellung der Arbeiten über Absorption findet man bei Biedermann: Landw. Versuchsst. 1869. p. 1—13.

§) Chem. Centralbl. 1863. p. 97 u. 129.

§§) Vergl. Chem. Centralbl. 1865. p. 129; 1866. p. 1095; dessen Düngerlehre I. p. 290.

§§§) Vergl. namentlich p. 182.

einzelnen Beispiele der chemischen Bindung in seinem Lehrbuch der Agrikulturchemie sorgfältig gesammelt und durch eigne und seiner Schüler Versuche namhaft vermehrt hat, lässt derselben eine kleine Hinterthüre offen *) und ist voll des Lobes für die Liebig'schen Schlussfolgerungen. **)

Unter allen den genannten (mit einer einzigen Ausnahme) deutschen Forschern ist auch nicht einer, der nicht von mechanischer oder physikalischer Absorption geredet und unter einer grösseren oder geringeren Anzahl von Einschränkungen sich für dieselbe ausgesprochen hat. Dies wird uns jedoch nicht abhalten, etwas näher auf den Begriff einzugehen, den man mit dem Ausdruck „mechanische" oder „physikalische" Absorption verbindet, und zu untersuchen, in wie weit man zu der Annahme eines derartigen Vorgangs berechtigt und genöthigt ist. Wir müssen hier anknüpfen an die Liebig'sche Vorstellung, der zuerst den fraglichen Process verglich mit der Fixirung von Farbstoffen in Kohle. Man hat sich auch später wieder öfters auf die Eigenschaften der Kohle berufen, die Ammoniak in sich verdichte, Salze und Farbstoffe (wie z. B. die Knochenkohle bei der Zuckerfabrikation) in sich niederschlage u. s. f. Die Eigenschaften solcher Kohle scheinen allen den Experimentatoren in bestimmterer oder weniger bestimmter Weise vorgeschwebt zu haben, denn Keiner hat es ausgesprochen, dass in der mechanischen Absorption ein physikalischer Process neuer Art entdeckt sei, sondern Jeder glaubte einen längst bekannten Vorgang nur an einem neuen Substrat vor sich zu sehen.

Man braucht nun nur etwas schärfer zuzusehen, um zu bemerken, dass unter dem sogenannten Absorptionsvermögen der Kohle eine ganze Reihe sehr verschiedenartiger Vorgänge verstanden werden, die voreilig in einen Topf geworfen sind. — Vor Allem muss strenge unterschieden werden zwischen den Wirkungen, welche die Kohle an sich auszuüben vermag, und den Wirkungen, die eine mit mancherlei Salzen imprägnirte Kohle geltend macht.

Es ist eine Thatsache von allgemeiner Bekanntheit, dass eine poröse Kohle, auch wenn sie ganz arm ist an fremden Bestandtheilen, *Gase in grossen Massen in sich zu verdichten* vermag. Condensirbare Gase sind, wie theoretisch vorauszusehen, auch einer solchen Verdichtung am Leichtesten zugänglich, und das Ammoniakgas ***) wird z. B. in besonders grossem Massstabe in den Poren der Kohle verdichtet. Diese Eigenschaft der Kohle theilen eine grosse Menge anderer trockner fester Stoffe †) (also unter Umständen, wo die Möglichkeit der Absorption durch Wasser gänzlich ausgeschlossen ist), und dieselbe kann nur als ein physikalischer Process aufgefasst

*) Vergl. Kreisl. d. Stoffs. I. p. 509.

**) Ebenda p. 495.

***) Nach de Saussure absorbirt ein Volum Buchsbaumkohle bei 11—13° C. und 724mm Barometerstand:

90 Vol.	NH_3	40 Vol.	N_2O	9,2 Vol.	O
85 „	HCl	35 „	CO_2	7,5 „	N
65 „	SO_2	35 „	C_2H_4	1,75 „	H
55 „	H_2S	9,4 „	CO		

(Vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs. II. p. 13).

†) Eichhorn: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1860—61. p. 27 u. f.; Blumtritt und Reichardt: ebenda 1866. p. 24.

werden, da eine Reihe von sehr einfach zusammengesetzten Stoffen, deren Eigenthümlichkeiten die Möglichkeit einer chemischen Wirkung ganz und gar ausschliessen, sich an dergleichen Verdichtungserscheinungen betheiligen. — Diese Vorgänge bleiben offenbar bei der Absorption der Ackererde, die aus wässrigen Lösungen erfolgt, völlig aus dem Spiele und dürfen natürlich nicht ohne Weiteres zur Erklärung derselben herangezogen werden.

Von dieser Wirkung der Kohle ist wohl zu unterscheiden das *Fixiren von Farbstoffen aus tropfbar flüssigen Lösungen.* Diese Wirkung kommt auch der reinen Kohle zu und kann in geringerem Grade auch von einer Anzahl anderer Stoffe chemisch verschiedener Natur, z. B. von Schwefel, Arsen und Eisen *) im fein vertheilten Zustande ausgeübt werden. Der hiebei stattfindende Vorgang ist physikalischer Natur, da an eine chemische Wirkung in den meisten Fällen gar nicht gedacht werden kann. Die Fähigkeit, auf diese Weise durch Substanzen von sehr grosser Oberfläche niedergeschlagen zu werden, erstreckt sich aber nicht allein auf die organischen Farbstoffe, sondern auch auf riechende Substanzen zum Theil unbekannter Constitution, auf Bitterstoffe, Harze, Gerbstoffe, **) auf eine Reihe von Salzen der schweren Metalle (wobei jedoch Reduktionen, also chemische Veränderungen vorzukommen scheinen). Thierische Kohle, die alle die letztgenannten Wirkungen zeigt, fixirt dagegen, wie ausdrücklich betont wird, keine Alkalisalze. ***) In diesen Erscheinungen haben wir es also mit einer mechanischen Absorption im eigentlichen Sinne des Worts zu thun; aber es ist wohl im Auge zu behalten, dass sie sich hauptsächlich auf Stoffe eigenthümlichen Charakters erstreckt, auf Stoffe (so können wir es allgemein ausdrücken) von hohem Molekulargewicht. †)

Wir haben es schliesslich mit einer dritten jener so gründlich untereinander geworfenen Erscheinungen zu thun, in Folge deren thatsächlich auch *Salze der Alkalien und alkalischen Erden niedergeschlagen werden.* Es ist Dies die Wirkung der Knochenkohle, einer Substanz, die gar nicht mehr strenggenommen als Kohle bezeichnet werden dürfte, denn sie enthält etwa 80 % Asche. Bei ihr sind offenbar chemische Umsetzungen durchaus nicht ausgeschlossen, und wenn ein solcher Körper z. B. Gyps in sich niederschlägt, was die reine Kohle an sich nicht thut, so ist es mindestens willkührlich, dennoch eine mechanische Absorption zur Erklärung eines solchen Vorgangs anzunehmen. Das Gleiche muss gesagt werden, wenn Peters Absorptionsversuche mit zwar mit Säure behandelter, aber entfernt nicht aschenfreier Kohle und Kalisalzen anstellt und in gleicher Weise Schlussfolgerungen zieht. Es ist durchaus willkührlich, in diesem Falle mechanische Absorption anzunehmen und um so willkührlicher, wenn Kalk in den abfliessenden Lösungen an Stelle des weggenommenen Kali's angetroffen wird, und die Absorptionsfähigkeit der Kohle durch Imprägniren mit kohlensaurem Kalk wesentlich gesteigert ††)

*) Vergl. über diesen Gegenstand vorzugsweise die Angaben Filhol's (Pharm. Centralbl. 1852. p. 211).

**) Vergl. Weppen: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 55. p. 241.

***) Vergl. ebenda.

†) Ich habe vergessen, wer zuerst hierauf hingewiesen hat.

††) Vergl. a. a. O. p. 147.

werden kann. Ganz dieselben Einwürfe sind endlich Heiden*) zu machen, wenn er aus seinen Absorptionsversuchen mit rohem und mit verschiedenen Medien behandeltem Torf**) einen analogen Schluss macht, ***) denn hier hatte man es nicht allein mit Substanzen zu thun, die einen Aschengehalt unbekannter Zusammensetzung enthielten, sondern mit solchen, die selbst die mannigfaltigsten chemischen Wirkungen ausüben.

Es ist also Alles in Allem genommen in dieser Richtung zu sagen, dass bei keinem andern Medium mit Zuverlässigkeit eine rein mechanische Absorption der Art constatirt ist, wie man sie ganz allgemein und arglos für die Ackererde angenommen hat. Für Alkalien und alkalische Erden ist bis jetzt niemals eine Fixirung aus einer wässrigen Lösung unter Umständen wahrgenommen worden, wo chemische Wirkungen vollständig ausgeschlossen waren, und Jedermann muss zugeben, dass damit die Theorie der mechanischen Absorption für diese Körper auf schwachen Füssen steht. — Wenn man dagegen die blosse Entfärbung der Mistjauche durch mechanische Absorption erklären will, so wird Niemand an dieser Annahme Anstoss nehmen, da hinreichend bekannt ist, dass eine ganze Anzahl fein vertheilter Körper von der allergrössten chemischen Verschiedenheit, und für deren Mehrzahl an eine chemische Reaktion gar nicht gedacht werden kann, die gleiche Eigenschaften zeigen. Allein es ist mehr als fraglich, ob diese natürliche Erklärungsweise auf jene Salze ausgedehnt werden darf, deren Absorption landwirthschaftlich allein von Wichtigkeit ist.

Man wird nun aber — und vorerst mit einigem Rechte — mir entgegen halten, dass ein Absorptionsvermögen bei Substanzen, bei denen jede chemische Wirkung von vorneherein ausgeschlosson ist, z. B. bei völlig aschenfreier Kohle den gelösten Alkalisalzen etc. gegenüber einfach desshalb nicht aufgefunden sei, weil man in dieser Hinsicht noch keine Versuche angestellt habe; man wird zugeben, dass die bisher in dieser Richtung vorhandenen experimentellen Beweise zweideutig seien, allein man wird es für leichte Mühe halten, diese Beweise durch einige etwas vorsichtiger angestellte Versuche zu vervollkommenen.

Ganz so habe ich auch gedacht, als mir die Unzulänglichkeit der vorhandenen Thatsachen für die Annahme einer mechanischen Absorption zuerst aufgefallen war, und ich habe die Sache für wichtig genug gehalten, um einige Versuche***) in dieser Richtung anzustellen.

*) Vergl. Düngerlehre I. p. 286.

**) Ebenso auch Schumacher, welcher merkwürdiger Weise bei aus Zucker dargestellten Humussubstanzen chemische Wirkungen für ausgeschlossen hält; vergl. Annal. der Landwirthsch. B. 49. p. 322 und Anm. **) folgende Seite.

***) Als ich vor etwa 3 Jahren im Winter 1866/67 über Absorption zu arbeiten begann, war ich in dem allgemeinen Autoritätsglauben befangen, dass rein physikalische Processe bei derselben eine Hauptrolle spielten. Ich nahm mir vor, diese Processe bei völligem Ausschluss aller chemischen Nebenwirkungen an sich in ihrer reinen Gestalt zu studiren, um so Gesetzmässigkeiten auf die Spur zu kommen, die man schon öfters bei der Ackererde (vergl. Bödecker: Journ. f. Landw. 1859. p. 48) in verdeckter Form angedeutet gesehen zu haben glaubte. Namentlich wollte ich auch diese Gesetzmässigkeiten vergleichungsweise für Kali- und Natronsalze prüfen, da es mir schon von vornherein auffallend gewesen war, bei einem rein physikalischen Processe, diese physikalisch einander so ähnlichen Salze in so verschiedenem Masse betheiligt zu sehen. — So kam ich ursprünglich auf Versuche mit Substanzen, bei denen jede chemische Wirkung völlig ausgeschlossen war.

Ich unternahm es, mir eine poröse Kohle darzustellen, die frei war von allen Aschenbestandtheilen wie andern Unreinigkeiten. Eine solche kann am Einfachsten erhalten werden, wenn man eine russende Petroleumflamme gegen eine Schale mit kaltem Wasser schlagen lässt, den Russ sammelt und ihn im verschlossenen Tiegel längere Zeit zur Rothgluth erhitzt. Mit einer solchen staubförmigen Kohle, die zweifelsohne eine sehr grosse Oberfläche besitzt, wurden nun Absorptionsversuche unternommen ganz in der üblichen Weise und mit einer Reihe von Substanzen, deren Absorbirbarkeit durch Ackererde längst festgestellt ist. Es wurden z. B. verwendet: Chlorkalium, schwefelsaures Kali, phosphorsaures Natron, kaustisches Ammoniak u. a. m. Allein in keinem Falle*) gelang es mir, eine Absorption festzustellen, obgleich ich die üblichen Concentrationen und Verhältnisse eingehalten hatte; der Titre der Flüssigkeiten erschien, wenn ich selbst erst nach einigen Tagen abfiltrirte, unverändert.**) Dieselbe poröse Kohle besass aber die Fähigkeit, eine Reihe von gelösten Farbstoffen in sich niederzuschlagen und dieselben Wirkungen auf andere Stoffe auf hohem Molekulargewichte auszuüben.

Ich bin nun weit entfernt davon, aus diesen wenigen Versuchen zu schliessen, es sei bewiesen, dass die gewöhnlichen Salze der Alkalien und alkalischen Erden, die für die Ernährung der Pflanzen in Betracht kommen, keine mechanische Absorption erleiden könnten; damit würde man offenbar das Gebiet der Erfahrung in ungerechtfertigter Weise überschreiten. Sondern wir haben uns auf den Standpunkt zu stellen, dass wir von Denen, die das Wort „mechanische Absorption" in Bezug auf die genannten Körper fort und fort im Munde führen, den Nachweis einer solchen unzweideutigen rein physikalischen Wirkung für ein Medium, das den Verdacht einer chemischen Wirksamkeit völlig ausschliesst, fordern, oder von ihnen behaupten, dass *sie* das Feld der Erfahrung überschritten haben. Wir können natürlich, unbekannt wie wir sind, mit der Theorie einer mechanischen Absorption, auf die Versuche mit einer einzigen Substanz hin nicht behaupten, dass das negative Resultat dieser Versuche beweise, es könne keine mechanische Absorption im Sinne der angeführten Agrikulturchemiker bestehen. Allein wir sind doch im Stande, diese Frage mit einiger Wahrscheinlichkeit zu beantworten, wenn wir bedenken, dass die Stoffe, die thatsächlich, wie viele organische Farbstoffe mechanisch absorbirbar sind, von allen möglichen feinzertheilten Körpern niedergeschlagen werden. Es wird so, wenn ein Schluss nach der Analogie hier gestattet ist, äusserst unwahrscheinlich,

*) Mit voller Bestimmtheit will ich Dies für das Ammoniak nicht behaupten, da hier einige Versuchsfehler (Verdunstung beim Abfiltriren) trotz Vorsichtsmassregeln nicht vermieden werden konnten, aber jedenfalls handelt es sich nur um Spuren.

**) Das geringe Absorptionsvermögen, das Schumacher (Annal. d. Landw. Monatsbl. B. 49. p. 322) an aus Zucker dargestellten künstlichen Huminsubstanzen wahrgenommen hat, bekundet durchaus nicht seine physikalische Natur durch die Abwesenheit anorganischer Stoffe in jenen Substanzen, wie der Verfasser unbegreiflicher Weise argumentirt, denn ich glaube, dass es einige Beispiele gibt, dass auch organische Substanzen chemische Wirkungen ausgeübt haben. — Ob sich freilich diese Erscheinung zur Zeit chemisch erklären lässt, muss dahingestellt bleiben. Im Uebrigen bedarf die angeführte Arbeit der Berücksichtigung weiter nicht, seit ihr E. Schulze die gebührende Abfertigung hat zu Theil werden lassen (vergl. Landw. Jahresber. 1867/68. p. 55).

dass Stoffe, die von fein vertheilter Kohle nicht niedergeschlagen werden, von den Substanzen der Ackererde, die voraussichtlich eine weit geringere Oberfläche besitzen, mechanisch festgehalten werden sollten.

Zum Mindesten ist durch das Vorstehende vorerst und so lange, bis jener Beweis, dessen Führung*) wir für unwahrscheinlich erachtet haben, beigebracht ist, gezeigt worden, dass die *Hypothese einer mechanischen Absorption* zur Erklärung der Fixirung jener Salze in der Ackererde vorerst *unstatthaft ist*, und wenn wir nun im Folgenden, wo wir uns mit dem Chemismus der Absorptionserscheinung beschäftigen wollen, auch noch zu zeigen im Stande sind, dass die genannte *Hypothese durchaus unnöthig* ist, so wird man uns zugestehen müssen, dass wir ein Recht besitzen zur Bekämpfung derselben.

Dass bei der Absorption der Ackererde *nebenbei* auch chemische Erscheinungen im Spiele seien, daran hat von Anfang des Studiums derselben an Niemand gezweifelt. Jeder der vielen genannten Experimentatoren hat die Thatsache constatirt, dass bei Absorption eines Salzes, dessen Basis absorbirbar ist, dessen Säure aber nicht, ein Theil dieser letzteren an eine andere vorher der Erde angehörige Base gebunden in der abfliessenden Lösung nachgewiesen werden könne. Es kann sich also hier nicht darum handeln, den Chemismus bei den Absorptionserscheinungen nachzuweisen, sondern lediglich darum, zu prüfen, ob durch diesen Chemismus auch alle beobachteten Thatsachen zur Genüge erklärt werden können.

Wenn man sich im Voraus überlegt, was damit verlangt wird, wenn man die Aufgabe stellt, alle die chemischen Vorgänge in einem so complicirt zusammengesetzten Medium, wie es die Ackererde ist, zu erklären, so dürfte man nicht einmal verzagen an der chemischen Natur der beobachteten Vorgänge, auch wenn deren Aufklärung aus chemischen Gesichtspunkten bis zur heutigen Stunde noch nicht gelungen wäre.**)

Ganz so schlimm steht es aber thatsächlich nicht. Es gelingt heute mit ziemlicher Leichtigkeit für die Festhaltung aller einzelnen gelösten salzartigen Bestandtheile in der Ackererde, für die sog. Absorption jener ganzen Reihe von Stoffen, chemische Gründe geltend zu machen. Es ist Dies vielleicht bei der Schwierigkeit der Aufgabe ein glücklicher Zufall zu nennen, den wir allein dem Umstand zu verdanken haben, dass so viele umfassende und in ihrem experimentellen Theile durchweg tüchtige Arbeiten über die in Rede stehenden Erscheinungen in kurzer Zeit angestellt worden sind.

*) Natürlich würden aber weitere Versuche in jener Richtung von hohem Werthe sein, da die gewonnene Anschauung gar sehr der experimentellen Bekräftigung bedarf.

**) Um Dies anschaulich zu machen, denke man sich folgende Aufgabe gestellt. Man schütte in ein Gefäss nach einander eine Reihe von der Qualität und Quantität nach genau gekannten Reagenzien und lasse einen gewandten und kenntnissreichen Chemiker voraussagen, welcher chemische Umsatz bei der Hinzufügung eines jeden neuen Reagenz' eintreten wird. Zuerst wird die Aufgabe sehr leicht sein, aber schon beim dritten und vierten Zusatz wird sie sich so compliciren, dass die Weisheit des Chemikers ihr Ende erreicht, und haben wir erst ein Gemisch beisammen, wie es alltäglich in unsern Abflusstöpfen sich bildet, so wird die Aufgabe für menschliche Kräfte ganz und gar unlösbar sein. In einer ähnlichen Lage befinden wir uns mit allen unseren Kenntnissen der einzelnen möglichen chemischen Reaktionen einem Gemisch, wie die Ackererde eines ist, gegenüber.

In Bezug auf den Chemismus der Absorptionsvorgänge hat wohl Knop die Resultate aus den verschiedenen Arbeiten am Vollkommensten zusammengestellt und am Richtigsten gedeutet (obwohl auch er, wie wir gesehen, eine wenigstens vorübergehende mechanische Absorption annimmt), wenn er ausspricht: *)

„Thonerde und Eisenoxydhydrat **) einerseits und fein vertheilte Silicate, was„serhaltige, selbst die gelöst gewesene und an der Luft getrocknete Kieselsäure „andererseits wirken zusammen. Kalisalze geben ihre Säure an Thonerdehydrat „oder Eisenoxydhydrat ab, es bilden sich dabei die diesen Oxyden eigenthüm„lichen in Wasser unlöslichen, aber durch Wasser zersetzbaren basischen Salze, „während das Kali gebunden wird: 1) von in Wasser unlöslichen wasserfreien „wie wasserhaltigen Silicaten und in sehr geringem Grade auch von der amor„phen Kieselsäure 2) von phosphorsaurer Thonerde."

„Die *Phosphorsäure* wird von jedem leicht zersetzbaren Silicat, besonders „von kieselsaurem Eisenoxyd und kieselsaurer Thonerde, von Aluminaten und „Humaten, deren Basen mit dieser Säure ein unlösliches Salz bilden, ge„bunden".

Die Folgerungen gründen sich fast ganz und gar auf Versuche mit aus der Ackererde isolirten Substanzen oder solchen, deren Existenz in der Erde für gewiss anzusehen wir berechtigt sind. Allein ich möchte darauf hindeuten, dass es für unsern Zweck weit wichtiger ist, einzusehen, dass die ganze Absorption von Salzen durch chemische Reaktionen erklärt werden kann, als eine genau zutreffende Vorstellung von diesen Reaktionen in jedem einzelnen Falle zu gewinnen.

Aehnlich wie die Knop'schen Erklärungen, sind nun auch die Erklärungen vieler Anderen ***), soweit sie sich nicht mit der weit bequemeren Annahme einer mechanischen Absorption zufrieden gegeben haben. Schon Liebig hat in einzelnen Stücken auf chemische Reaktionen bei den Absorptionserscheinungen hingedeutet. So z. B. hat derselbe gezeigt, dass aus Lösungen von kieselsaurem Kali humusreiche Erden besonders das Kali, aber wenig Kieselsäure aufnehmen, so dass sich auf die Weise im eingedampften Filtrat Kieselgallerte bilden kann, und dass solche Erden nach der Zerstörung jener Substanzen durch die Glühhitze oder nach Zusatz von kohlensaurem Kalk auch grosse Mengen von Kieselsäure zu absorbiren vermögen, und hat diese Erscheinungen durch den Hinweis auf die saure Beschaffenheit der Humussubstanzen erklärt.

Es ist ferner darauf hinzuweisen, dass in Bezug auf Absorption der Phosphorsäure von den meisten Forschern die rein chemische Natur dieser Erscheinung zugestanden worden ist. So führt auch Heiden †) diese Festhaltung der Phosphorsäure auf rein chemische Erscheinungen zurück, nemlich auf Bildung von unslöslichen Verbindungen derselben mit Eisenoxyd, Thonerde, Magnesia und Kalk; und in Bezug

*) Vergl. Landw. Versuchsst. 1865. p. 59.

**) Auch Warrington hat die absorbirende Wirkung dieser beiden Substanzen betont und rein chemisch erklärt; vergl. Journ. of Chem Soc. 1868.

***) Vergl. auch die von Reichardt (Preuss. Annal. d. Landw. Woch.-Bl. 1870. p. 50) für das Verhalten von Eisenoxydhydrat und Thonerdehydrat den Basen, der Phosphorsäure und den kohlens. Salzen gegenüber gemachten interessanten Mittheilungen.

†) Vergl. Düngerlehre I. p. 290.

auf diese Erweiterung gegenüber der Knop'schen Erklärung der Phosphorsäureabsorption muss ihm entschieden Recht gegeben werden, denn es wurde die Niederschlagung der Phosphorsäure aus Superphosphatlösungen durch kohlensauren Kalk z. B. auch durch Versuche*) auf der Versuchsstation zu Karlsruhe festgestellt, obwohl dieser Process nur langsam von Statten geht.

In Bezug auf die Absorption der Basen ist man also in den neuesten Anschauungen, wie aus Dem, was Knop über Kaliabsorption ausgesprochen hat, hervorgeht, wieder auf Etwas Aehnliches zurückgekommen, was Way ursprünglich angenommen hatte**). Es sind unter Anderem wieder gewisse Silicate von variabler Zusammensetzung, denen man auf Grund eingehender Studien jene Rolle ertheilt. — Wir müssen auf diesen Gegenstand noch mit einigen weitern Worten eingehen.

Es sind vorzüglich die Arbeiten Rautenberg's mit Bolus und vergleichungsweise mit Kaolin gewesen, die dieser Ansicht zum Siege verholfen haben. Es wurde gezeigt, dass dem Bolus, einem Silicate, das neben Thonerde eine Reihe von andern Basen enthält, ein bedeutendes Absorptionsvermögen für einzelne Basen zukomme, dass demselben aber dieses Vermögen durch Extraction mit Salzsäure genommen werden könne; durch einen Process also, bei welcher dem Bolus die andern Basen ausser Thonerde grossentheils entzogen werden. Es wurde dagegen gezeigt, dass dem Kaolin, der reinen kieselsauren Thonerde kein Absorptionsvermögen***) zukomme, wohl aber dieses erhalte, wenn es mit Wasserglas, einem kieselsauren Alkali imprägnirt wird.

Kurz das genauere Studium der Absorptionserscheinungen auch von Seiten derjenigen, die mit dem vollen Glauben an physikalische Wirkungen an die Arbeit gingen, hat immer wieder von Neuem mit unwesentlichen Modificationen für das Festhalten der Basen zu Dem zurückgeführt, was ursprünglich Way gelehrt hatte, und mag dieser Forscher immerhin bei seinen Erklärungen einige chemische Schnitzer gemacht haben, im Wesentlichen bleibt die Sache doch dieselbe.

Wir haben in der Ackererde leicht zersetzbare Doppelsilicate, deren Natur uns hier nicht weiter interessirt, anzunehmen, die aber stets neben der Thonerde noch eine oder die andere Base, eine alkalische Erde oder ein Alkali oder auch mehrere dieser Basen nebeneinander enthalten†). Diese Silicate haben die Eigenschaft, unter dem Einflusse der Massenwirkung, ihre accessorischen Basen (nicht die Thonerde) gegen einander umzutauschen. Ist vorzugsweise Kalk in dem Silicat vorhanden, wie Dies für unsere kalkreichen Ackererden meistens gedacht werden muss, so wirken Kali- und Ammoniaksalze, in zurücktretender Weise auch Natron- und Magnesiasalze, auf diese Verbindungen ein; und es findet nach doppelter Wahlverwandtschaft

*) Bericht der Versuchsst. Karlsruhe 1810. p. 111.

**) Wie Knop auch deutlich ausspricht; vergl. Landw. Versuchsst. 1865. p. 60.

***) Der Kaolin zeigt nach den Untersuchungen von Rautenberg nur Absorptionsvermögen für freies Ammoniak, nicht für die Salze, für welche erstere Wirkung indessen ebenso chemische Processe angenommen werden können.

†) Vergl. in dieser Hinsicht auch die Arbeit Eichhorn's, aus welcher, obwohl sie nicht als Untersuchung über die Absorptionserscheinungen auftritt, in dieser Richtung viel zu lernen ist (Jahresber. f. Agrikulturchem. 1859/60. p. 19). Dieselbe wäre sehr wohl zu einer frühzeitigen Begründung der chemischen Anschauung geeignet gewesen.

der Austausch der Basen statt. Kalk tritt alsdann an die in der Lösung enthaltene Säure gebunden aus dem Silicate aus und wird in der Lösung vorgefunden, während nun Kali (resp. Ammoniak, Natron oder Magnesia) an die Stelle des Kalks in das Silicat eintreten. Aus dieser Vorstellung, die wir uns von der Basenabsorption aus Salzen zu machen alle Berechtigung haben, folgt zugleich, dass nun die umgekehrte Reaktion, unbeschadet der verschieden grossen chemischen Affinitäten, erfolgen kann*) und muss dieselbe, wenn zu dem veränderten Silicate, wieder eine Kalklösung gegeben wird, unfehlbar eintreten.

Etwas abweichend hievon (und vielleicht auch nicht in genügender Weise begriffen) muss die Absorption der kaustischen Alkalien gedacht werden.

Dann verdient vielleicht noch der Chemismus, den die Humussubstanzen**) bei der Ammoniakabsorption ausüben, besonders hervorgehoben zu werden.***) Es sind vorzugsweise die Brustlein'schen Versuche, die diese Beziehung in's Licht stellen und an der chemischen Natur des Vorgangs keinen Zweifel lassen.

Was in den meisten Experimentatoren immer wieder den Gedanken eines mechanischen Processes hervorgerufen hat, das scheint mir (wie sich bei genauer Prüfung der Argumentation derselben ergibt) die Thatsache zu sein, auf die wir in der nächsten Vorlesung wieder zurückkommen werden, dass die Menge des der Lösung entzogenen Körpers stets sich abhängig zeigte von der Concentration und der Menge (im Verhältniss zu der Menge des absorbirenden Körpers) derselben. Man meinte†), dass Dies ein sicheres Zeichen sei, für einen rein physikalischen Vorgang, da chemische Processe nicht abhängig zu sein pflegten von den Mengen der auf einander reagirenden Stoffe. — Allein, es ist bekannt, dass dieser Satz nicht allgemein richtig ist, denn sog. chemische Massenwirkungen††) sind zur Genüge bekannt und treten nur bei den besser studirten chemischen Erscheinungen, wo *grosse* Affinitäten in's Spiel kommen, in den Hintergrund. Aber noch verhängnissvoller ist bei dieser Art zu argumentiren der Umstand, dass bei der Phosphorsäureabsorption, für welche man die chemische Natur des Vorgangs bereitwillig zugab, ganz dieselbe Abhängigkeit der unlöslich gemachten Säure von der Concentration der angewendeten Salzlösung constatirt

*) Dies beweisen auch die Peters'schen Versuche mit grosser Klarheit, durch welche festgestellt wurde, dass in einer bereits der Kaliabsorption ausgesetzten Erde nun die Natronabsorption eine sehr viel grössere ist als vorher. Vergl. auch die interessanten Versuche von Knop u. Hussakowsky (Kreisl. d. Stoffs II. p. 173), aus denen ganz Dasselbe hervorgeht.

**) Man darf sich hierbei nicht dadurch irre machen lassen, dass die huminsauren und ulminsauren Alkalien, wie wir früher gesehen haben, lösliche Stoffe sind, und also nicht zur Erklärung der Absorptionserscheinungen benutzbar zu sein scheinen. Es ist daran zu erinnern, dass es auch schwerer lösliche Humusstoffe gibt, die gleichwohl die Rolle von Basen spielen. Auch ist jene Löslichkeit, wenn andere Salze zugegen sind, keine so gar hohe.

***) Hierher gehört auch die von Davy (citirt von Heiden, Philosoph. Magaz. 1856. p. 152) beobachtete Thatsache, dass Torf ein weit besserer Ammoniakcondensator ist als Torfkohle, welche erstere sich dazu für die von uns dargelegten Anschauungen benutzen lässt.

†) Vgl. Rautenberg: Chem. Centralblatt 1863. p. 127; Heiden: Düngerlehre I. p. 289 und Knop: Kreisl. d. Stoffs I. p. 500.

††) Rautenberg führt gegen die eigene von ihm verfochtene Anschauung an, dass dem borsauren Silberoxyd durch grosse Mengen Wassers die Borsäure nach und nach entzogen werden könne.

war. So fanden Henneberg und Stohmann folgende Zahlen für Phosphorsäureabsorption aus phosphors. Ammoniak je in 9 Stunden *).

	Phosphorsäure.	
	Gegebene Menge.	Absorbirte Menge.
100 Ccm. Erde und 200 Clm. Lösung	0,144 Gr.	0,072 Gr.
„ „	0,720 „	0,244 „
„ „	1,440 „	0,396 „

Dasselbe zeigen die Zahlen anderer Forscher. Es ist also nicht nothwendig, über die Stichhaltigkeit des gebrauchten Argumentes ein weiteres Wort zu verlieren.

Unmöglich kann ich diese Vorlesung schliessen, ohne noch zuvor eines Mannes Erwähnung zu thun, der am Ausführlichsten über den hier in Rede stehenden Gegenstand geschrieben, eine grosse Menge sehr schätzenswerthes Material gesammelt und zusammengestellt hat und (so viel ich ersehen kann) gänzlich frei geblieben ist von der Theorie der mechanischen Absorption; — ich meine Mulder **). Das betreffende Kapitel seines Werkes über „die Chemie der Ackerkrume" (Uebersetzung v. Müller B. I. 387—420) ist für Alle zu lesen wichtig, die sich für den Chemismus der Basenabsorption ***) näher interessiren †).

Neunundzwanzigste Vorlesung.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Absorptionserscheinungen in ihrer Wirkung.

Wir haben in der letzten Vorlesung die merkwürdigen Erscheinungen in der Ackererde kennen gelernt, welche als die der Absorption bezeichnet worden sind. Wir haben diese Erscheinungen auf ihre Ursächlichkeit geprüft und sind zu dem Resultate gekommen, dass chemische Processe vollständig ausreichen, um dieselben

*) A. a. O.

**) Auch Brettschneider hat (vergl. Jahresber. f. Chemie 1866. p. 45) sich für die rein chemische Natur der Absorptionserscheinungen ausgesprochen, jedoch ohne hinlängliche Begründung und an der Spitze einer Reihe von anderen unbewiesenen Behauptungen. — Als weiterer Verfechter der chemischen Anschauung ist dann Eichhorn, dessen einschlagende Arbeit wir vorhin citirten, zu nennen. Vergl. die nächste Anmerkung.

***) Von Wichtigkeit für das Verständniss der Ursachen der Basenabsorption ist auch die Arbeit von Eichhorn; Poggend. Annal. B. 105. p. 126.

†) Dass die dort und an anderen Stellen dieses Werkes dargelegten Ansichten in Deutschland nur so geringe Verbreitung gefunden haben, liegt z. Th. blos in der seltenen Unleserlichkeit des Buches, dessen Studium für Jemanden, der sich an die künstlerisch schöne und verführerische Schreibart eines Liebig gewöhnt hat, zu einer der schwierigeren Uebungen eines indischen Büssers wird. Allein das verhindert nicht, das Ausgesprochene zu wiederholen.

zu erklären und ein nebenher laufender mechanischer Process nicht angenommen zu werden braucht.

Heute wollen wir weit wichtigere Betrachtungen an die Absorptionserscheinungen anknüpfen — Betrachtungen über deren Bedeutung für die Ackererde und für die Pflanzenernährung unter den natürlichen Verhältnissen. Zu dem Behufe müssen wir aber noch ein wenig näher auf das Wesen jener Erscheinungen eingehen.

Namentlich wird — Dies ist leicht einzusehen — für uns von Wichtigkeit sein, eine Vorstellung von der Wechselwirkung der sogenannten absorbirten Stoffe mit dem Lösungswasser, resp. Bodenwasser zu gewinnen. Wir wissen bereits, dass die chemischen Affinitäten, welche die Absorption bewirken, von ziemlich geringer Stärke sind, so dass die Lösungskraft des Wassers mit ihnen in eine erfolgreiche Concurrenz zu treten im Stande ist. — Die einschlagenden Untersuchungen haben folgende Sätze ergeben:

Aus einer verdünnten Lösung wird regelmässig weniger absorbirt als aus einer concentrirteren, auch wenn beide in sehr grossen Mengen verabreicht werden.

Die absorbirten Stoffe können durch Auswaschen mit vielem Wasser theilweise wieder der Erde entzogen werden. *)

Diese beiden experimentell festgestellten Sätze sind direkt herzuleiten aus dem eben geltend gemachten Gesichtspunkte, dass die in's Spiel kommenden chemischen Kräfte nicht so gross sind, dass die lösenden Kräfte des Wassers vollständig gegen sie verschwinden, und aus dem gleichen Gesichtspunkt ergibt sich dann auch noch der dritte Satz, welcher lautet:

Aus einer grösseren Menge Lösung wird mehr absorbirt als aus einer kleineren Menge von derselben Concentration, **)
weil bei Entzug einer gleichen Menge des absorbirbaren Körpers die in grösserer Menge vorhandene Lösung weit weniger erschöpft wird, also die lösende Kraft des Wassers, die selbstverständlich bei steigender Concentration der Lösung (in dem Grade ihrer Sättigung) eine geringere wird, und die ja der Absorption entgegen wirkt, weniger auszurichten vermag.

---

*) Es ist offenbar ein logischer Fehler, der sich indessen nicht auf die massgebenden Folgerungen aus dem betreffenden Satze erstreckt, wenn Heiden in seinem Lehrbuche noch besonders versichert, „dass eine bedeutend viel grössere Menge von Wasser zur Lösung" einer absorbirten Base erforderlich ist, als die Menge beträgt, in welcher dieselbe vor der Absorption gelöst war (vergl. 289—290 seiner Düngerlehre, B. I.); ebenso die Folgerung 2) auf p. 267, wo noch hinzugesetzt wird: „es ist somit die Kraft, mit welcher die Erde die absorbirte Basis zurückhält, weit grösser als die, mit der sie es der Lösung entzieht"; (vergl. ferner p. 268, Folgerung 2), obgleich man leicht versteht, was durch diese contradictio in adjecto ausgedrückt werden soll.

**) Diese Sätze der Relativität der Absorptionsgrösse verdient in der landwirthschaftlichen Praxis alle Beachtung, wenn ihnen eine solche auch noch kaum zu Theil geworden ist. Es folgt aus demselben, dass sehr verdünnte Nährstofflösungen, wie z. B. Bewässerungswässer ihre Stoffe unter Umständen vor Absorption schützen werden, im Gegentheil mit Erde zusammengebracht, welche schon viele Stoffe im absorbtiv gebundenen Zustand enthält, diese auslaugen werden, und ohne Zweifel ist Dies für die Theorie der Bewässerung eine sehr beachtenswerthe Folgerung, die experimental zu prüfen, eine dankbare Aufgabe wäre. Vergl. übrigens die achtunddreissigste Vorlesung.

Man hat wiederholt versucht, diese experimentell feststehenden Sätze noch genauer zu präcisiren und die Abhängigkeit, z. B. zwischen Zunahme der Concentration der Lösung und Menge des absorbirten Stoffes mathematisch zu formuliren. Eine Zeit lang, und namentlich so lange man meinte, es mit einem Vorgang rein physikalischer Natur zu thun zu haben, glaubte man einer solchen Gesetzmässigkeit auf der Spur zu sein, und Bödeker*) hat in der That mit einigem Glück aus den von Henneberg und Stohmann gelieferten experimentellen Daten**) die Beziehung abgeleitet, dass *die absorbirten Mengen irgend eines Stoffes sich verhielten wie die Quadratwurzeln der Concentrationen der verabreichten Lösungen.* Dies sogenannte Bödeker'sche Gesetz sagt also z. B. aus, dass bei Verdoppelung der Concentration einer Absorptionslösung die absorbirten Mengen***) sich verhalten müssten, wie $1 : \sqrt{2}$, d. i. $1 : 1{,}41$. Es ist von vorneherein klar, dass, da die Absorption steigt mit der Concentration, aber wegen der mehr und mehr zunehmenden Sättigung der die Absorption bewirkenden chemischen Kräfte niemals proportional dieser Concentrationssteigerung zunehmen kann, die bei der Verdopplung der Concentration sich ergebende Absorptionsgrösse bezogen auf die ursprüngliche zwischen 1 und 2 liegen muss, sich aber keiner dieser beiden Zahlen allzusehr nähern kann. Daraus folgt nun schon, dass wenn man in Bezug auf kleinere Abweichungen ein Auge zudrückt, sich eine gewisse entfernte Uebereinstimmung der experimentellen Daten mit dem Bödeker'schen Gesetze ergeben muss. Wenn man Dies berücksichtigt, so kann man sagen, dass sich dieses Gesetz, obwohl in nahezu genügender Uebereinstimmung mit den Zahlen von Henneberg und Stohmann†) und auch noch mit vielen von Rautenberg††) und Peters†††), durch die spätern Versuche durchaus *nicht* bestätigt wurde. So finden sich bei den Zahlen, wie sie aus der Arbeit dieses Letztgenannten hervorgehen, schon Abweichungen, die ich in einfachster Weise durch die Ziffern ausdrücken will, welche die Absorptionssteigerung bei Verdoppelung der Lösungsconcentration bezeichnet und welche beim Zutreffen des Gesetzes $= \sqrt{2} = 1{,}41$ sein müsste.

Für	schwefelsaures	Kali ($^1/_{20}$	Atom : $^1/_{10}$	Atom)	= 1,61
„	doppelkohlensaures	„	„	„	= 1,67
„	kohlensaures	„	„	„	= 1,82
„	Kalihydrat		„	„	= 1,83
„	phosphorsaures	„	„	„	= 1,89

Man sieht, dass die Uebereinstimmung, besonders, wenn man im Sinne behält, was eben über die mögliche Variation der gefundenen Zahl gesagt wurde, eine sehr

*) Journ. f. Landw. 1859. p. 48.

**) Ebenda p. 25.

***) Zunächst nur gültig für Kali und Ammoniak.

†) A. a. O.

††) Vergl. Chem. Centralbl. 1863. p. 127.

†††) A. a. O.

unvollkommene ist.*) Immerhin werden wir an dem Ausdruck des Gesetzes einen ungefähren Anhalt besitzen für eine in den meisten Fällen hinreichende Beurtheilung der Absorptionszunahme bei Concentrationssteigerungen, und somit ist ihm nicht aller Werth schlechthin abzusprechen.

Uebrigens ergibt sich schon aus einem rein theoretischen Gesichtspunkte, dass jenes Absorptionsverhältniss für wechselnde Concentrationen niemals durch eine constante Zahl (wie 1,41 für die Concentrationsverdoppelung) ausgedrückt werden kann; denn offenbar ist diese Zahl abhängig von der Concentration, von der man ausgeht, sie ist nothwendig eine Funktion der absoluten, nicht blos der relativen Concentration; denn, wenn einmal die Concentration sehr gross wird, so wird eine Concentrationsvermehrung Nichts Erhebliches mehr leisten können, da die Erde schon durch einen geringen Bruchtheil der gelösten Substanz völlig gesättigt wird. In gleicher Weise muss jene Zahl auch abhängig sein von der absoluten Flüssigkeitsmenge (und deren Verhältniss zur Erde) die in beiden Fällen angewendet wird, wie sich aus demselben Gesichtspunkte ergibt.

Für den zweiten mitgetheilten Satz, der aussagt, dass absorbirte Stoffe wieder durch reines Wasser theilweise in Lösung übergeführt werden können, hat man vergeblich gesucht, Gesetzmässigkeiten ausfindig zu machen. Doch haben alle dahin gerichteten Versuche ergeben, dass die Auflösungsfähigkeit einmal absorbirter Stoffe in reinem Wasser eine ziemlich unbedeutende **) und eine Zeit lang nahezu propor-

*) Dasselbe ergiebt sich ganz durchgehends, wenn man die von Küllenberg gefundenen Zahlen (vergl. Brettschneider: Mittheilungen des landw. Centralvereins für Schlesien. H. 15. p. 83) auf gleiche Weise berechnet.

Kaliabsorption.	Zunahme der Absorption für Verdoppelung der Concentration.
Für schwefelsaures Kali	1,48
„ salpetersaures „	1,85
„ phosphorsaures „	1,52
„ kohlensaures „	1,21
„ Chlorkalium	1,71
Ammoniakabsorption.	
Für schwefelsaures Ammoniak	1,19
„ salpetersaures „	1,47
„ phosphorsaures „	1,65
„ kohlensaures „	1,42
„ Chlorammonium	1,45
Natronabsorption.	
Für schwefelsaures Natron	1,42
„ salpetersaures „	1,64
„ phosphorsaures „	1,79
„ kohlensaures „	1,28
„ Chlornatrium	1,61

Noch grössere Abweichungen ergeben sich für Kalk- und Magnesiaabsorption, und für Vervierfachung der Concentration, wo das Bödeker'sche Gesetz nach unserer Ausdrucksweise $\sqrt{4} = 2$ verlangte, ergaben sich für die Kaliabsorption Zahlen, die zwischen 1,72—3,13 schwanken.

**) Dieses Verhalten hat sogar Henneberg und Stohmann zu dem vorhin gerügten und mindestens seiner Ausdrucksweise nach völlig absurden Satze geführt, dass der Widerstand, den die Erde dem Verluste an absorbirten Stoffen entgegensetze, ein grösserer sei, als die Kraft, womit sie dieselben absorbire.

tional dem Auslaugungswasser sei. Dies Verhalten ist leicht verständlich, wenn wir bedenken, dass bei der Auslaugung durch reines Wasser nun nicht der umgekehrte chemische Austausch als der, durch welchen die Absorption ursprünglich bewerkstelligt wurde, stattfinden kann (wie Dies nach der physikalischen Vorstellung eintreten müsste), da im reinen Wasser nicht das chemische Material (die Bestandtheile der abgegossenen Absorptionsflüssigkeit) zum reciproken Umsatz vorhanden ist.*) Man hat es also hier wesentlich mit einem *ganz andern*, unter viel ungünstigeren Umständen sich vollziehenden Processe zu thun, von dem es natürlich schwierig ist, sich eine zutreffende Vorstellung zu machen, und der je nach der sonstigen Beschaffenheit der Erde in sehr verschiedener Weise verlaufen wird. Die annähernde Proportionalität der so in Lösung übergeführten Stoffe mit der Menge des Lösungswassers deutet auf eine einfache Lösung, vielleicht des ganzen bei der Absorption entstandenen Silicates oder auf eine gleichmässige Zersetzung dieses letzteren hin.

Was endlich die Absorption aus gleich concentrirten, aber in verschieden grossen Mengen vorhandenen Lösungen betrifft, so setzt diese Erscheinung sich theilweise aus den beiden eben behandelten zusammen und würde sich ganz aus denselben ergeben, wenn wir es mit einem einfacheren Processe zu thun hätten. Es muss augenscheinlich die gleiche Wirkung haben, ob ich die Concentration verdoppele und dann die gleiche Menge reinen Wassers hinzugiesse, oder ob ich gleich von Anfang die doppelte Lösungsmenge, aber von gleicher Concentration verwende. Jedenfalls folgt hieraus, dass die Absorptionssteigerung bei Verdoppelung der Flüssigkeitsmenge kleiner sein muss, als bei Verdoppelung der Concentration, denn jene unterscheidet sich von dieser nur durch die weitere Anwesenheit einer eben so grossen Menge reinen Wassers, das selbstredend eine lösende (absorptionsverhindernde) Wirkung geltend machen muss. Henneberg und Stohmann sprechen in der That aus, dass die aus der doppelten Menge von Lösung absorbirten Stoffmengen um $^1/_5$ grösser**) seien, als die aus der einfachen Menge, so dass nach unserer vorhin gebrauchten Ausdrucksweise die erstere Menge = 1,2 wäre. Nach dieser Angabe, mit der die Versuchsresultate der genannten Forscher gut stimmen, würde also die Anwesenheit der doppelt so grossen Wassermenge, wodurch sich der Versuch mit der doppelten Flüssigkeitsmenge von dem Versuche mit der doppelten Concentration allein unterscheidet, einen sehr bedeutenden Unterschied (nach den Resultaten von H. u. St. 1,41—1,2) hinsichtlich der Absorptionsgrösse bewirken.

Allein es ist auch hier wieder daran zu erinnern, dass diese Zahl keine Constante sein kann, indem selbstredend, wenn es sich einmal um sehr grosse Flüssigkeitsmengen handelt, der Effekt der Verdopplung nahezu verschwinden muss, und so

*) Aus diesem Verhalten der Erde, welche absorbirte Stoffe in sich enthält, dem Wasser gegenüber ergibt sich auch, dass man nicht von einer an absorbirten Stoffen „gesättigten" Erde sprechen kann, obgleich Dies von Seiten der Anhänger der Liebig'schen Anschauungen in Bezug auf Pflanzenernährung in absorptionsfähigen Ackererden geschehen ist. (Vergl. Liebig: Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 121. p. 340; Stohmann: Landw. Versuchsst. 1864. p. 424—28 u. a. a. O.).

**) Indessen sollten sich auch diese anscheinenden Gesetzmässigkeiten zunächst nur auf Kali und Ammoniak beziehen und z. B. für Kalk nicht gelten.

auch jene Zahl eine Funktion des Verhältnisses zwischen Erde und Flüssigkeit, von dem ursprünglich ausgegangen wird, sein muss. Weiter muss die Zahl auch eine Funktion der Concentration sein, da bei sehr grosser Concentration die Verdoppelung der Lösung unmöglich eine erhebliche Steigerung der Absorptionsgrösse bewirken kann. Aus diesen Gesichtspunkten schon geht hervor, dass auch hier keine allgemein gültige Zahl ebenso wie vorhin für die Concentrationsvermehrung gegeben werden kann, und wenn man z. B. die Peters'schen Versuche den Berechnungen zu Grunde legt, so ergeben sich sogleich sehr erhebliche Abweichungen. *)

Obgleich wir es nun also in der Wechselwirkung zwischen Lösungswasser und den fixirenden Absorptionskräften der Ackererde mit Verhältnissen zu thun haben. die sich nicht geradezu mathemathisch formuliren lassen, so gewinnen wir doch durch das Studium dieser Verhältnisse einen brauchbaren Ueberblick über das Verhalten der löslichen Theile der Ackererde und dann später der durch Düngung neu hinzugebrachten Bestandtheile derselben. Es ist indessen zur Vervollkommnung dieses Ueberblicks durchaus unerlässlich, noch etwas näher auf die einzelnen Stoffe einzugehen, die überhaupt Absorption erleiden können.

Abgesehen von gewissen organischen gefärbten Bestandtheilen der Mistjauche und ähnlicher Massen organischen Ursprungs, die schon durch mechanische Absorption voraussichtlich festgehalten werden können, sind nach unsern bisherigen Erfahrungen von den Stoffen, die überhaupt für die Ackererde in Betracht kommen können, alle Basen: nemlich *Ammoniak*, *Kali*, *Natron*, *Kalk* und *Magnesia*, und von den Säuren: *Kieselsäure* und *Phosphorsäure* unter Umständen der Absorption zugänglich, während für *Salzsäure*, *Schwefelsäure* und *Salpetersäure* niemals ein Unlöslichwerden in erheblichem Grade beobachtet werden konnte. Also auch unter den nicht absorbirbaren Stoffen befinden sich zwei wichtige Pflanzennährmittel, darunter eines, dessen Salze sich alle einer ausgezeichneten Löslichkeit erfreuen, die Salpetersäure. Dies ist ein Punkt in mehrererlei Hinsicht in hohem Masse der Beachtung werth. — Einmal wird hierdurch wiederum die wahre Natur der Absorptionserscheinungen in ein helles Licht gesetzt, indem Substanzen, die unfähig sind, schwerlösliche chemische Verbindungen einzugehen, der Absorption nicht zugänglich sind. — Dann lassen sich aus diesem Verhalten speziell für die Ernährung der Pflanze durch salpetersaure Verbindungen naheliegende Folgerungen ziehen. **)

---

*) Es hat keinen Zweck, im Texte näher auf diesen Gegenstand einzugehen. Die nach derselben Art aus den Resultaten von Peters berechneten Zahlen sind für Chlorkalium: Concentr. $^1/_{40}$ Atom im Liter 1,266; 1,165; $^1/_{20}$ Atom 1,265; 1,166; $^1/_{10}$ Atom 1,272; 1,210.

**) In der 27. Vorlesung (p. 52) und auch schon im ersten Abschnitt (p. 194) dieses Werkes wurde darauf hingewiesen, dass auf einem von Organismen noch nicht occupirten Terrain keine erhebliche Ansammlung von Stickstoffnahrung stattfinden könne, trotzdem dass ein solcher Boden durch Jahrtausende hindurch mit Ammoniak- und Salpetersäure-haltigen Meteorwässern begossen worden ist. Der Grund für diese Thatsache liegt nun offen da, und damit ist zum grossen Theil der Schlüssel zu dem früher geschilderten Verhalten eines rein mineralischen Bodens dem Pflanzenwachsthum gegenüber gegeben. Das Ammoniak des Regenwassers ist zwar absorptionsfähig, obwohl hiefür die grosse Verdünnung desselben wenig günstig ist. Allein das etwa absorbirte Ammoniak ist natürlich namentlich in rein mineralischen Böden ausserordentlich leicht oxydirbar, und die so entstehenden salpetersauren Salze

Unter den absorbirbaren Stoffen treffen wir wieder grosse Verschiedenheiten an. Die Phosphorsäure und die Kieselsäure sind so ausserordentlich fähig, unlösliche oder mindestens sehr schwer lösliche Verbindungen einzugehen, dass sie unter den Verhältnissen, wie sie für die natürliche Ackererde bestehen, nur in sehr geringen Mengen in der Bodenlösung angetroffen werden können. Mannigfaltiger ist das Verhalten der verschiedenen Basen in dieser Hinsicht, und um die Verschiedenheiten zu verstehen, welche sich hier darbieten, ist es nothwendig, einige Worte über den Charakter derjenigen Verbindungen zu sagen, durch deren Entstehung und Umformung wir uns im Wesentlichen die Erscheinung der Absorption derselben vorzustellen hatten.

Die Bildung der leicht (schon durch Salzsäure) zersetzbaren wasserhaltigen Doppelsilicate, die von Mulder etwas abweichend von dem mineralogischen Sprachgebrauch schlechtweg als „Zeolithe" bezeichnet worden sind, und deren Umformung unter dem Einflusse chemischer Massenwirkung (vielleicht häufig ein ganz ähnlicher Process wie der der Erhärtung der Cementkalke) ist es, auf die im Wesentlichen die Basenabsorption mit gleichzeitigem Austritt einer äquivalenten Menge einer anderen Base zurückgeführt werden konnte. Nun wissen wir aber, dass die verschiedenen Basen, obgleich alle dieser Bildungen fähig, doch in sehr verschiedenem Grade dabei ihre Affinitäten geltend machen. Way hat schon versucht, von diesem Gesichtspunkt ausgehend, eine Art Rangordnung der Basen festzusetzen, freilich nicht mit grossem Glück und mit nachweisbaren Inconsequenzen, aber jedenfalls ohne den Einwurf Liebig's zu verdienen, dass bei Acceptirung dieser chemischen Anschauung und bei Aufstellung einer solchen Verwandtschaftsreihe der dieser letzteren entgegenlaufende Basenaustausch eine Unmöglichkeit sei.

Wir versuchen nun nicht etwa, eine stichhaltige Verwandtschaftsreihe neu aufzustellen, denn die Zeit, wo man Dies für thunlich hielt, ist vorbei (oder noch nicht da), sondern begnügen uns mit der Angabe, dass unter den fünf genannten Basen Natron und Magnesia am Wenigsten Neigung zu jener Bildung zeolithartiger Doppelsilicate zeigen, während Kali, Kalk und Ammoniak in dieser Hinsicht als starke Basen zu betrachten sind.*) Wir nehmen dieses Verhalten einfach als chemische Eigenthümlichkeit der aufgezählten Basen hin, ohne natürlich die Frage nach der Ursache einer solchen aufzuwerfen.

Namentlich ist die Thatsache eines durchgreifend verschiedenen Verhaltens zwischen Kali und Natron von Wichtigkeit und hier besonders hervorzuheben. Von

müssen dann unfehlbar ausgewaschen werden. Von einer irgendwie erheblichen Aufspeicherung der Stickstoffnahrung kann unter diesen Umständen in regnerischen Gegenden natürlich nicht die Rede sein, hat man ja doch auch für unsere gewöhnlichen Ackerfelder die Beobachtung gemacht, dass in Folge der Auswaschung von salpetersauren Salzen in der Brachzeit der Stickstoffgehalt derselben eher ab- als zunimmt (vergl. Liebig: Die Chemie u. s. w. 1862. Einleitung p. 68).

*) Aus dieser ganzen Darstellung ist klar ersichtlich, dass es nicht geradezu die Pflanzennährstoffe sind, welche absorbirbar sind, und dass die Nicht-Nährstoffe auch gelegentlich absorbirt werden und umgekehrt, obgleich man in populären Schriften die Darstellung im ersteren Sinne liebt. Diese letztere ist aber schon desshalb gefährlich, weil sie die Meinung an ein teleologisches Walten in der Ackererde, an „eine Polizei" im Boden, um mit Liebig zu reden, erweckt.

der rein physikalischen Anschauung der Absorptionserscheinungen ausgehend, wäre ein solcher Unterschied schwer begreiflich; bei chemischen Reaktionen dagegen sind wir gewohnt, auch physikalisch einander äusserst nahe stehende Substanzen verschiedene Rollen spielen zu sehen. — Durch alle Absorptionsversuche ist es in voller Uebereinstimmung mit einander unzählige Male festgestellt worden, dass Kalisalze in ungleich höherem Grade absorbirt werden, als die Salze des Natrons, und dies ungleichartige Verhalten steht in nahem Zusammenhange mit Erscheinungen, die aus dem Studium der Verwitterungsprocesse sehr bekannt sind, und die auch wir schon einmal mit einem Worte berührt haben. Wir haben bei Behandlung jener Processe gesehen,*) dass bei der Verwitterung von Sillicatgesteinen das Natron verhältnissmässig rasch austritt, während das Kali dem Silicate, sind in demselben anders die Bedingungen zur Bildung von zeolithartigen Doppelsilicaten vorhanden, meistens sehr vollständig erhalten bleibt. Nur wenn diese Bedingungen fehlen, wenn das verwitternde Gestein keine alkalischen Erden oder Eisen enthält, dann kann der Verwitterungsprocess fortschreiten bis zur Bildung von Kaolin, d. i. reiner kieselsaurer Thonerde. Wo aber alkalische Erden und Eisen, namentlich aber Kalk vorhanden ist, da entstehen hei der Verwitterung auch solche zeolithartige Doppelsilicate, die auch Alkalien, besonders Kali in sich aufzunehmen vermögen daher dieses mit grosser Energie festhalten und bei Berührung mit neuen Mengen von Kalisalzen die sogenannte Absorptionsthätigkeit ausüben.

Aus diesem Verhalten lässt sich auch Etwas für den Verlauf des Verwitterungsprocesses bei jenen beiden verschiedenen Gruppen der krystallinischen Massengesteine folgern, worauf wir schon früher hingedeutet haben. Die eine Gruppe der kieselthon-alkalischen Gesteine, die nur ganz verschwindende Mengen von alkalischen Erden enthält und deren verwitterbares Element unter allen Umständen ein Alkali-Feldspath ist, wird keine Möglichkeit haben, jene wichtigen Doppelsilicate, zu deren Bestehen alkalische Erden erforderlich sind, in grösserem Massstabe zu bilden. Daher treten die Alkalien bei der Verwitterung dieser Gesteine ziemlich vollständig aus, auch hier freilich das Natron viel rascher als das Kali, so dass die aus diesen Gesteinen gebildeten ursprünglichen Bodenarten trotz ihres einstigen Alkalireichthums, doch dieses Alkalis und namentlich des im leichtlöslichen Zustande befindlichen ziemlich beraubt sein können. Ausserdem werden wir in denselben keine erhebliche Basenabsorption, wenn diese durch Düngung hinzugebracht werden, zu erwarten haben.

Die krystallinischen Massengesteine der andern Gruppe haben allesammt Hornblende oder Augit als charakteristischen Gemengtheil, viele ausserdem noch den kalkreichen Labrador, und in den Verwitterungsmassen dieser Gesteine wird nach dem Ebengesagten Gelegenheit zur Bildung von solchen Doppelsilicaten gegeben sein. Die geringeren Mengen von Alkalien, welche in den Gesteinen dieser Gruppen sich vorfinden, werden sonach denselben in um so vollständigerer Weise aufbewahrt bleiben, und gerade in leichtlöslicher Form aufbewahrt bleiben, so dass auf diese Weise in den ursprünglichen Böden der zweiten Gesteinsgruppe an für das Pflanzenwachsthum verfügbarem Kali ein grösserer Reichthum wird herrschen können, als in jenen Böden der Gesteine der ersten Gruppe, wo Alles Leichtlösliche sofort hin-

*) Die fünfundzwanzigste Vorlesung p. 26.

weggeführt wird. Zugleich werden die ursprünglichen Böden der zweiten Gruppe ein weit höheres Absorptionsvermögen für neuhinzukommendes Kali besitzen.

Bei den verschwemmten thonhaltigen Böden, die sich, wenn es sich um ausgedehntere Bildungen handelt, niemals ausschliesslich aus dem feinvertheilten Verwitterungsprodukte einer jener beiden Gruppen gebildet haben, daher immer alkalische Erden enthalten, wird unter allen Umständen Gelegenheit zur Entstehung solcher Doppelsilicate gegeben sein, und man wird es in ihnen mit Böden von erheblicher Absorptionsfähigkeit für Basen zu thun haben.

Diese mitgetheilten Gesichtspunkte erscheinen mir von erheblicher Wichtigkeit, wenn auch bisher noch nicht in genügender Weise auf dieselben geachtet worden ist.

Mittelst der Kenntnisse, die wir uns in Bezug auf die Absorptionsvorgänge verschafft haben, sind wir jetzt im Stande, uns eine ziemlich vollständige Vorstellung von deren Wirksamkeit im Boden zu bilden, und von der Art und Weise, wie dieselben auf die in der Ackererde vor sich gehende Pflanzenernährung einwirken.

Erinnern wir uns, auf welche Weise die Pflanzenwurzel die in ihrer unmittelbaren Umgebung sich vorfindenden Stoffe sich aneignet. Soweit die feinsten Wurzelendigungen mit einer Bodenlösung in Berührung kommen, werden die leicht diffusibeln gelösten Stoffe nach bestimmten, früher erläuterten Gesetzmässigkeiten aufgenommen werden; soweit jene mit festen Bodenpartikelchen in Berührung kommen, werden eigenthümliche lösende Kräfte der Wurzel auf diese sich geltend machen und die festen Theilchen werden, soweit sie diesen lösenden Kräften erliegen, ebenfalls aufgenommen werden können.

In Folge der Absorptionsfähigkeit der Ackererde sind trotz einer schon weit fortgeschrittenen Verwitterung nur sehr wenig Stoffe in der Bodenlösung vorhanden. — Wir haben bei den Wasserkulturversuchen die ausserordentliehe Empfindlichkeit der Pflanzenwurzel gegen Lösungen erkannt, die mehr als einige Promille gelöste Salze in sich enthalten. Diese Empfindlichkeit wird erklärlich, wenn wir die bestehenden Verhältnisse der Ackerkrume berücksichtigen, denn dort werden der Wurzel nur verdünnte Lösungen angeboten, und wir müssen aus unseren Vorstellungen über die Anpassungsfähigkeit von Organismen (auf dem Wege der natürlichen Züchtung) an die zufälligen äusseren Umstände schliessen, dass sich die Organisation der Pflanzenwurzeln im Laufe der Generationen nach den Verhältnissen in der natürlichen Ackererde gerichtet hat. — Aus jener Lösung schöpft nun die Pflanze, aber entsprechend der grossen Verdünnung, entgegen dem de Saussure'schen Gesetze, d. h. sie nimmt die überhaupt aufnehmbaren Stoffe in einem weit grösseren Verhältniss auf, als diese in der Bodenlösung vorhanden sind, und erschöpft so diese Bodenlösung in kurzer Zeit an denselben; namentlich wird Dies*) für Kali, Salpetersäure und Ammoniak gelten. **)

*) Siehe die einundzwanzigste Vorlesung p. 355.

**) Es ist schwer verständlich, wie dieser Punkt so ganz und gar bei den vielen Berechnungen, welche in Bezug auf die Frage, ob die in den Bodenlösungen enthaltenen Stoffe zu einer normalen Vegetation genügen möchten, mit Zugrundelegung der jährlichen Regenmengen oder der Verdunstungsgrössen angestellt worden sind (vergl. Eichhorn: Poppelsd. Zeitschr. H. I. p. 22; Wunder: Landw. Versuchsst. 1863. p. 34; Grouven: Agron. Zeitg. 1858. p. 469 u. A. m.), übersehen werden konnte, wenn auch zu der Zeit, wo sich jener

Die so durch den Uebergang von Stoffen in die Pflanze noch weiter verdünnte Bodenlösung wird nun aber ihre lösenden Kräfte auf die absorbirten, d. h. auf die in jenen lockeren und durch die ganze Feinerde vertheilten Verbindungen befindlichen Stoffe geltend machen und aus diesem Reservoir *nahezu* ihre alte Concentration wieder herstellen, und es ist nun klar ersichtlich, wie die Wechselwirkung weiter vorläuft und in welcher Weise die Absorptionsfähigkeit des Bodens dabei wirkt. Wäre dieselbe nicht vorhanden, so würden alle durch Verwitterung aus ihrem alten Zusammenhang gerissenen und nun löslichen Stoffe grossentheils vom Regen mit fortgespült werden, im günstigsten Falle aber in einer verhältnissmässig concentrirten Lösung im Boden vorhanden sein. Diese würde nun vielleicht für die Wurzel geradezu schädlich, jedenfalls aber sehr bald erschöpft sein, und dann wäre die Pflanze einzig und allein angewiesen auf das durch Verwitterung neu in Lösung übergeführte.

In Folge der Absorptionskraft des Bodens aber wird das durch die chemische Veränderung bei der Verwitterung disponibel gewordene Material festgehalten, aber ohne dass eine schädliche Concentration der Bodenlösung eintreten könnte. Diese bleibt sehr verdünnt, aber sie bleibt lange Zeit hindurch — so lange als noch Stoffe in jener lockeren chemischen Verbindung, die wir Absorption nennen, vorhanden sind — auf einer ziemlich gleichartigen Sättigungshöhe.

Noch deutlicher ist die Wirksamkeit des geschilderten Verhaltens bei der Zufuhr von sogenannten Düngestoffen von Aussen. Diese werden, soweit sie in löslicher Form in den Boden gebracht werden, und soweit sie überhaupt absorptionsfähig sind, grossentheils in jene losen chemischen Verbindungen übergeführt werden, und die Menge der so gebundenen Stoffe wird nach den erläuterten Gesetzmässigkeiten eine umso grössere sein, je grösser die der aufgebrachten ist. Die Bodenlösung, deren hohe, der Düngung entsprechende Concentration für die Pflanze unfehlbar schädlich gewesen wäre, wird so eine verdünntere werden, aber lange Zeit hindurch in ihrem Gehalte constant bleiben, da die absorbirten Stoffe nun, wenn die Bodenlösung durch die Thätigkeit der Wurzel erschöpft, oder auch in Folge des Hinzutretens neuer Regenmengen verdünnt ist, nach und nach diese Lösung wieder zu sättigen streben. Wird dagegen die Bodenlösung durch Verdunstung von Feuchtigkeit aus der Ackererde allzu concentrirt, so muss nach den geschilderten Gesetzmässigkeiten selbstredend von Neuem Absorption eintreten, und die Lösung wird hierdurch etwas weniger concentrirt, als sie lediglich in Folge jener Abdunstung geworden wäre.

Man kann demnach die Wirkung der Absorptionserscheinungen als *eine die Bodenlösung in ihrem Substanzgehalte regulirende* bezeichnen, und schon aus diesem einen Gesichtspunkte ergibt sich die grosse Wichtigkeit, welche die geschilderte Eigenschaft des Bodens bei dessen Funktion als Pflanzenernährer spielen muss.*)

Streit entspann, die Aufnahmsgesetze noch sehr unvollkommen gekannt waren. Die streitige Frage wird sich für Eichhorn, Wunder und ihre Parteigänger weit günstiger, für Liebig, Zöller und ihre Anhänger weit ungünstiger gestalten, wenn man die von W. Wolf aufgefundenen Aufnahmsgesetzmässigkeiten berücksichtigt, indem nach denselben selbstredend gerade aus den ausserordentlich verdünnten Lösungen die Nährstoffe in einer verhältnissmässig sehr viel grösseren Concentration assimilirt werden müssen.

*) Etwas von dieser Art der Wirksamkeit der Absorptionskraft ist schon merkwürdiger Weise von Davy, dessen Buch über Agrikulturchemie in der deutschen Uebersetzung

Es ist nothwendig, hinzuzusetzen, dass gewisse Erfahrungen in der landwirthschaftlichen Praxis die so gewonnene Anschauung vollkommen bestätigen. Wir werden nach dieser letzteren zu erwarten haben, dass Bodenarten, denen nur geringe Absorptionskräfte zur Verfügung stehen, auch alle die eben geschilderten Eigenschaften nur in zurücktretendem Grade besitzen werden, und in der That lehrt die landwirthschaftliche Praxis, dass z. B. für Sandböden, die sehr arm sind, an allen jenen chemischen Verbindungen, auf welche die Absorptionsfähigkeit zurückgeführt werden kann, keine zu starke Düngungen empfohlen werden, sondern dass dort öftere aber kleinere Düngungen am Platze erscheinen, während für schwerere Böden das Umgekehrte empfohlen wird. Auf Sandböden nimmt man leichter ein sogenanntes „Verbrennen" irgend einer Saat oder einer Pflanzung nach einer reichlichen Düngung wahr, eine Schädigung des Pflanzenwachsthums, die auf die zu hohe Concentration der Bodenlösungen zurückgeführt werden muss. Aus genau demselben Gesichtspunkte erklärt sich der bekannte Erfahrungssatz, dass auf leichten Böden Düngungen, vor der winterlichen nassen Periode gegeben, eine verhältnissmässig geringe Wirkung zeigen — Dinge, die ohne weitere Erläuterung auf das Fehlen oder Vorhandensein der Absorptionskräfte zurückzuführen sind und auf's Schlagendste deren Bedeutsamkeit für die Ernährung der Pflanze unter natürlichen Verhältnissen demonstriren.

Das Vorhingesagte gilt für die Pflanzennährstoffe: Kali, Kalk, Magnesia, Ammoniak, die wir regelmässig in der Bodenlösung einer fruchtbaren Ackererde anzunehmen haben; es gilt auch für die Phosphorsäure, insofern dieselbe aus einem verwitterten und löslich gewordenen Mineral oder aus einer gegebenen Düngung sehr vollständig absorbirt wird. Allein gerade die chemische Bindung der Phosphorsäure

im Jahre 1814 erschien, erkannt worden, obgleich man nicht sagen kann, dass dieser grosse Forscher schon der Entdecker der Absorptionskräfte des Bodens gewesen sei. P. 211 seiner „Elemente der Agrikulturchemie" heisst es:

> „Der Extrakt aus den sich zersetzenden vegetabilischen Substanzen bildet, wenn er mit Pfeifenthon gekocht wird, eine chemische Zusammensetzung, durch welche die vegetabilische Substanz schwerer auflöslich und zersetzbar wird. Reine Kieselerde und Kieselsand haben wenig Wirkung hierauf, und *derjenige Boden, welcher die meiste Alaunerde und kohlensaure Kalkerde enthält, ist der, welcher die grösste chemische Energie in Erhaltung des Düngers zeigt.* Ein solches Erdreich verdient ein reiches genannt zu werden; denn die vegetabilische Nahrung wird lange Zeit in einem solchen erhalten, so dass sie von den Organen der Pflanze aufgenommen werden kann. Kieselsand im Gegentheil verdient den Beinamen eines armen Bodens, den man ihm gewöhnlich zu ertheilen pflegt; denn die vegetabilischen und animalischen Substanzen, welche in einem solchen Erdreiche enthalten sind, *werden von den erdigen Bestandtheilen nicht angezogen* und sind daher mehr geeignet, durch die Wirkung der Atmosphäre zersetzt oder durch das Wasser fortgeführt zu werden."

und ebendaselbst die Anmerkung A. Thaer's:

> „Das ist eine auch in der Praxis des Ackerbaus längst gemachte Bemerkung. Der Thon hält die fruchtbaren, die eigentlichen Nahrungstheile der Pflanzen zurück; *darum wird er nicht leicht völlig daran erschöpft.* Ist er aber einmal daran verarmt, oder wird er unbefruchtet aus tieferen Lagen heraufgebracht, *so erfordert er eine grössere Menge von Dünger, um in Fruchtbarkeit gesetzt zu werden, als der sandige Boden. Daher auch die allgemeine Regel, Thonboden stark und selten, Sandboden schwach, aber oft zu düngen.*"

in den meisten Ackererden ist so vollständig, dass sehr häufig Nichts von ihr in der Bodenlösung nachgewiesen werden kann. In solchen Fällen muss dann die Aufnahme durch die lösende Kraft der Wurzeln *) selbstredend als die vorzügliche Quelle dieser

*) Es ist eine sehr eigenthümliche Erscheinung in der geschichtlichen Entwickelung unserer Vorstellungen von der Ernährung der Pflanze in der Ackererde, dass man lange Zeit hindurch geglaubt hat, principiell sich entscheiden zu müssen, entweder ausschliesslich für die Aufnahme der Pflanzennährstoffe aus der Ackererde in schon vorher gelöster Form, oder ausschliesslich durch Selbstthätigkeit der Pflanzenwurzel aus dem sogenannten absorbtiv gebundenen Zustand. Der ganze Verlauf des Streits, der sich an diese ungerechtfertigte Alternative anknüpft, bietet indessen so wenig Interesse für unsere Darstellung, da in demselben fast unausgesetzt eine Versündigung gegen den gesunden Menschenverstand zu constatiren ist, dass wir der Darstellung desselben unmöglich einen Platz in unserem Texte verstatten können.

Liebig hatte nach seiner ersten Bearbeitung der Absorptionserscheinungen ausser der theilweise neuen Erklärung derselben, von der wir in der letzten Vorlesung gehandelt haben, auch eine neue Theorie der Pflanzenernährung ausgesprochen und so die ganze Frage in zweierlei Hinsicht in ein vollkommenes Dunkel gehüllt. Diese Theorie, die jedoch ihrer handgreiflichen Absurdität wegen sehr allgemeinen Widerspruch erregte (vergl. Landwirthsch. Berichte von v. Babo 1858. p. 1—13; E. Wolff: Mittheilungen a. Hohenheim. H. 4. p. 66; Grouven: Agron. Zeitg. 1858. p. 469; Schumacher: Landw. Versuchsst. 1862. p. 270) und nur einige leidenschaftliche Vertheidiger fand, sagte aus, „dass die grösste Anzahl der Kulturpflanzen darauf angewiesen ist, ihre mineralische Nahrung direkt von der Ackerkrume zu empfangen, und dass ihr Bestehen gefährdet wird, dass sie verkümmern und absterben, wenn ihnen diese Bestandtheile in einer Lösung zugeführt werden“ (vergl. Annal. f. Chem. u. Pharm. B. 105. p. 139); und gerade vorher wird ausgesprochen: „Empfingen die Landpflanzen ihre Nahrung aus einer Lösung, so würden sie von dieser Lösung der Zeit nach und im Verhältniss nur so viel aufnehmen können, als Wasser durch ihre Blätter verdunstet u. s. w.“, was, wie wir wissen, eine falsche Voraussetzung ist. — Die Theorie führt alsdann weiter aus, dass die Landpflanzen sich auf Kosten der absorbtiv gebundenen Nährstoffe, die in unmittelbare Berührung mit den feinsten Wurzelfasern kommen, ernähren, und es werden so im Wesentlichen die Vortheile übersehen, welche die Absorptionserscheinungen auch für die Annahme der Pflanzenernährung aus der Bodenlösung nothwendig bieten müssen.

Zöller (vergl. Landw. Versuchsst. 1863. p. 40; 1864. p. 45) und Fraas (Ergebnisse landw. Versuche u. s. w. des bair. landw. Vereins, 24, p. 60) haben dann diese Anschauung, gestützt auf Versuche, die aus im Texte schon enthaltenen Gründen Nichts in der gewünschten Richtung zu entscheiden vermögen, Jahre hindurch eifrig vertreten.

Allen diesen Anschauungen gegenüber genügt die einfache Bemerkung, dass die Fähigkeit der Pflanzenwurzel, aus Lösungen zu schöpfen, durch eine sehr grosse Anzahl von Wasser- und Sandkulturversuchen in unzweifelhafter Weise dargethan ist, dass aber ebenso sicher feststeht, dass die Wurzel auch feste Körper, die in verdünnten Säuren löslich sind, aufzunehmen befähigt ist, wenn sie mit denselben in unmittelbare Berührung kommt. Es kann also nicht der geringste Grund vorliegen, daran zu zweifeln, dass die Pflanzenwurzel, da das Vorhandensein von Lösungen sowohl wie von solchen leichtlöslichen festen Körpern im Boden als feststehend angenommen werden muss, beide Fähigkeiten in der Ackererde thatsächlich geltend macht. Die Frage kann also nicht lauten, *ob?* auf die eine oder die andere Weise, sondern, *wie viel?* auf die eine oder die andere Weise, und in dieser Hinsicht muss dann von jener Seite das weitere Zugeständniss gemacht werden, dass bei Berücksichtigung der früher noch unbekannten Wolf'schen Aufnahmsgesetze die ausgeführten Berechnungen zeigen, dass wenigstens in vielen Fällen die Aufnahme von Nährstoffen lediglich aus der Bodenlösung zur Erklärung des in den Pflanzen thatsächlich Vorhandenen genügt. So wird es denn eini-

Stoffe für die Pflanze angesehen werden, wie denn dieselbe sich auch zweifelsohne vielfach bei der Aufnahme anderer Nährstoffe geltend macht.

Anders ist es mit den noch übrigen Pflanzennährstoffen, mit der Schwefelsäure und der Salpetersäure. Für diese Stoffe konnte in keiner ihrer Verbindungen eine erhebliche Absorption nachgewiesen werden. Bei der Salpetersäure war dieses Verhalten leicht begreiflich, da dieselbe keine unlöslichen Verbindungen bildet; bei der Schwefelsäure muss es daraus erklärt' werden, dass eben in der natürlichen Ackererde keine Gelegenheit ist zur Bildung unlöslicher schwefelsaurer Salze, obwohl sie mit dem einem oder dem andern der in der Ackererde vorkommenden Stoffe (wie z. B. mit dem Eisenoxyd) schwerlösliche basische Salze zu bilden im Stande ist.

Für die Schwefelsäure, die nur äusserst selten, wie es scheint, unter den pflanzlichen Nährstoffen in's Minimum geräth, hat diese Eigenthümlichkeit keine weiteren praktischen Folgen, wohl aber für die Salpetersäure, und es ergeben sich daraus manche wichtige Düngungsregeln, die einmal für die Düngung von salpetersauren Salzen ungefähr Das aussagen, was beim Sandboden überhaupt für jeden Düngstoff als Regel gilt, nemlich nicht vor einer regnerischen Jahreszeit, wo viel Wasser den Boden durchströmt und auslaugt, zu düngen, also z. B. keine Herbstdüngungen vorzunehmen. Eine Herbstdüngung mit Chilisalpeter würde unter den meisten Verhältnissen hinausgeworfenes Geld sein, einfach wegen der mangelnden Absorbirbarkeit der salpetersauren Salze.

Aehnliche praktische Regeln ergeben sich dann trotz der hohen Absorbirbarkeit des Ammoniaks für alle Stickstoffdüngungen, wenn wie in fast allen guten Ackererden daselbst Gelegenheit zum Uebergang des Stickstoffs der organischen Verbindungen und des Ammoniaks in Salpetersäure gegeben ist. — Dies sind indess Punkte, die erst in dem Abschnift über Düngung ausführlichere Behandlung finden werden. — Nur will ich noch mit einem Worte darauf hindeuten, wie trotz dieser Nichtabsorbirbarkeit des allerwichtigsten stickstoffhaltigen Pflanzennährmittels die Absorptionskräfte des Bodens unter natürlichen Verhältnissen doch auch für die Stick-

ger Massen unwahrscheinlich, dass durch direkte Wurzelthätigkeit sehr grosse Mengen von Stoffen aufgenommen werden.

Die erwähnte eigenthümliche Anschauungsweise, der nicht blos Liebig und seine treuesten Parteigänger, sondern ausser ihm ein sehr ansehnlicher Theil der deutschen Agrikulturchemiker bis in die neueste Zeit treu geblieben ist, musste natürlich auch auf die Methoden der Bodenanalyse einen bemerkbaren Einfluss äussern. Es mussten namentlich diejenigen Methoden in Misskredit kommen, die von dem Gesichtspunkte ausgingen, bei der Bodenuntersuchung besonders jene Bestandtheile zu berücksichtigen, welche in leicht-löslicher Form vorhanden sind und darum vorzugsweise in die Bodenlösungen übergehen und so zur Ernährung der Pflanzen dienen sollten. Hierhin wären also zu rechnen das Auslaugen des Bodens durch Wasser, Kohlensäure-haltiges Wasser, verdünnte Säuren.

Dagegen erwarb sich die Prüfung der Absorptionsfähigkeit eines Bodens, die freilich auch nach den damaligen Ansichten nicht irgendwie ein Bild vom Bodenreichthum oder der momentanen Fruchtbarkeit geben konnte, sondern nur einen Massstab für die Fähigkeit eines Bodens, eine gegebene Düngung auszunutzen, einen dauernden und vielleicht etwas zu hervorragenden Platz unter denjenigen Manipulationen des Chemikers, die dazu dienen sollten, das Verhalten des Bodens der Vegetation gegenüber aus dessen im Laboratorium zu ermittelnden Eigenschaften abzuleiten.

stoffernährung der Pflanze in der Ackererde vermuthlich ihre Dienste thun. Es muss nemlich im Auge behalten werden, dass naturgemäss der Stickstoff der Ackererde in überwiegender Menge in Form von zur Zeit unlöslichen organischen Substanzen vorhanden sein wird,*) da nur sehr geringe Mengen von Salpetersäure durch das Regenwasser in den Boden gelangen. In dem Masse nun als diese Stoffe durch Verwesung und Oxydation in Ammoniak und dann in Salpetersäure übergehen, kann diese letztere, da ihre Salze sehr rasch und vollständig von der Pflanze aufgenommen werden, zur Assimilation gelangen, und so braucht der entstehende Verlust bei der Absorbirbarkeit des intermediären Gliedes nicht so bedeutend zu sein, als man auf den ersten Blick glauben sollte. Freilich enthalten die in nasser Jahreszeit an der Sohle der Ackerkrume austretenden Wässer, die sogenannten Drainwässer, fast regelmässig geringe Mengen von Salpetersäure. Man erkennt aber immerhin, dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen, wo die Zersetzungsprodukte verwesender organischer Substanzen die Pflanze der Hauptsache nach hinsichtlich ihres Stickstoffbedarfs ernähren, der Mangel der Absorbirbarkeit der Salpetersäure nicht so viel zu sagen hat. Anders ist es freilich bei einem künstlichen Aufbringen salpetersaurer Salze in grossen Quantitäten. Hier wird ein Verlust kaum zu vermeiden sein, und es ist natürlich die Aufgabe einer rationellen Düngung, denselben möglichst einzuschränken.

Im Grossen und Ganzen aber ist die nützliche Wirksamkeit der Absorptionskräfte der Ackererde klar erkenntlich, wenn sie auch für einzelne Stoffe entbehrt werden können. In Folge derselben werden für weitaus die meisten Pflanzennährstoffe und einige andere lösliche Substanzen der Ackererde, die nicht als solche bezeichnet werden können, die Concentrationen der Bodenlösungen ausserordentlich gemässigt und lange Zeit hindurch auf einer nahezu gleichen Höhe erhalten, trotzdem dass durch die Momente der Stoffaufnahme einerseits, durch die des neu aus atmosphärischen Niederschlägen hinzutretenden Wassers andererseits das Bestreben einer Concentrationsänderung fort und fort besteht. Die Absorptionskraft kann in dieser Hinsicht, wie gesagt, als *eine die Bodenlösungen wirksam regulirende* bezeichnet werden.

In zweiter Linie ist daneben deren Wirksamkeit, als *die nützlichen Bodenbestandtheile zurückhaltend* zu unterscheiden. Diesen Punkt müssen wir indessen noch etwas eingehender beleuchten, als es in dem Vorhergehenden geschehen ist, da auch in dieser Beziehung viele incorrekte Vorstellungen mit untergelaufen sind. Wir dürfen uns nicht einbilden, dass, wenn z. B. lösliche absorbirbare Düngestoffe einer Ackererde einverleibt worden sind, und nun diese letztere beregnet wird, sich eine Lösung von einer bestimmten Concentration bildet, diese nach den Gesetzen der Absorption eines Theils ihrer gelösten Stoffe beraubt wird, und nun die restirende Lösung einfach und unverändert durch die tieferen Bodenschichten abfliesst und in einer gewissen Tiefe als Drainwasser auftritt, sondern wir müssen immer im Augen behalten, dass die tiefer und tiefer in den Boden eindringende Lösung sich an jedem Ort mit der sie umgebenden Bodentheilchen nach eben denselben Absorptionsgesetzen in's

*) Wenn auch die Menge des in der Zeiteinheit vorhandenen Ammoniaks gegen die der Salpetersäure zurücktritt (vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs I., p. 124 126).

Gleichgewicht setzt und so mehr und mehr der noch übrigen absorbirbaren Stoffen beraubt wird. Wir haben so, wenn der Dünger oben aufgegeben wird (oder statt des Düngers kann man sich selbstredend auch einen ohne Zuthun der Menschen in die Erde gelangten verwesenden organischen Körper denken) und das Wasser von oben nach unten sickert, in den verschiedenen Höhen der Ackererde sehr verschiedene Mengen durch Absorption festgehaltener Stoffe und sehr verschiedene Concentrationen der Bodenlösung anzunehmen. Oben werden unter den gegebenen Verhältnissen concentrirte Bodenlösungen und grosse Mengen von fixirten Stoffen, unten stufenweise verdünntere Lösungen und geringere Mengen jener Stoffe zu erwarten sein,*) und der Versuch lehrt, dass dem wirklich so ist. Wir werden im Allgemeinen keinen Schluss machen dürfen aus der Concentration dieser Lösungen an einem Orte, z. B. der Drainwässer**) auf die weiter oben vorhandenen Lösungen u. s. f. Nur sehr langdauernder Regen und kapillare Wasserbewegung, welche letztere eine bedeutende Rolle in der Ackererde spielt, werden nach und nach einen ungefähren Ausgleich bewirken können.

Allein Thatsachen lehren, dass in der natürlichen Ackererde unter gewöhnlichen Umständen die Absorptionskräfte so kräftig wirken, dass nur langsam eine solche Ausgleichung erfolgt. Es ist hier namentlich an die interessanten Localisationsversuche der Nährstoffe zu erinnern, die auf's Deutlichste lehren,***) dass Düngestoffe, die ganz bestimmten Zonen des Bodens einverleibt werden, dort lange Zeit durch ganze Vegetationsperioden hindurch unverrückt verbleiben, wie an der dort üppig sich entfaltenden Wurzelverzweigung beobachtet werden kann. So zeigt auch die obere Erdschicht unserer bebauten Grundstücke, die sogenannte eigentliche Ackerkrume, auch wenn lange Zeit keine Düngung mehr erfolgt ist, einen grösseren Reichthum an für das Pflanzenwachsthum verfügbaren Nährstoffen als die tieferen Schichten, der sogenannte Untergrund. †) Diese Thatsache lässt sich freilich auch theilweise aus einem andern Gesichtspunkte erklären, auf den mit Recht wiederholt aufmerksam gemacht worden ist. ††) Die kapillare Flüssigkeitsbewegung in den

---

*) Es ist Schumachers Verdienst, zuerst mit Klarheit diese Consequenzen gezogen zu haben (vergl. Landw. Versuchsst. 1862. p. 287).

**) Nur das vollständige Uebersehen dieser Verhältnisse hat den Irrthum ermöglicht, als ob die in einer gewissen Tiefe aus der Ackererde abfliessenden Lösungen, Drainwasser, Lysimeterwässer und dergl. ein Bild verschaffen könnten von der Concentration der Nährstofflösungen in der Umgebung der Pflanzenwurzeln. Diese ganze Anschauung, die von Liebig, Fraas und Zöller besonders vertreten ward, und alle Folgerungen aus derselben lassen sich durch diesen einen Hinweis widerlegen und noch ganz besonders entkräften durch Erinnerung an die Thatsache, dass überhaupt nur Drainwässer fliessen, Lysimeterwässer sich ansammeln, wenn viel Regen fällt, also zu einer Zeit, wo die Bodenlösungen, namentlich, da sie nicht genügende Zeit haben, sich mit den Absorptionskräften ins Gleichgewicht zu setzen, sehr verdünnt sind (vgl. hierüb. Schumacher: Ldw. Versuchsst. 1862. p. 270 u. bes. 280).

***) Vergl. Nobbe: Landw. Versuchsst. 1864. p. 334 u. Zöller ebenda p. 261.

†) Siehe die Bemerkung am Schlusse der siebenundzwanzigsten Vorlesung p. 71.

††) Vergl. Pollacci: Journ. d'agricult. pratique. 1862. H. 5 u. Nessler: Bad. landw. Correspondenzbl. 1860. p. 230 u. a. O. Die Versuche des Letzteren zeigen in sehr anschaulicher Weise, wie eine oberflächliche Auflockerung der Ackererde die kapillare Leitung und damit die Verdunstung sehr einschränkt, wie aber eine bis obenhin festgedrückte und so mit Kapillarräumen in continuirlichem Zusammenhang erfüllte Krume wegen der sehr vollkom-

Hohlräumen der Ackererde, die eine Folge ist der unter den äusseren Umständen stets wechselnden Menge des daselbst vorhandenen Wassers, wirkt zwar innerhalb der Ackererde im Allgemeinen in Bezug auf die Menge absorbirbarer und absorbirter Stoffe Concentrations-ausgleichend; allein wenn hiezu die Verdunstung an der Oberfläche der Ackererde trifft, so ist daselbst ein Moment für die Ansammlung solcher Stoffe gegeben, das, wie Versuche lehren, sehr wirksam sein kann. Offenbar unterstützt dieser Vorgang, der immerhin *einen Theil* *) der von oben nach unten verschwemmten Stoffe wieder nach oben zurück bringt, die Localisation derselben in der eigentlichen Ackerkrume und wirkt so dem Ausgleich in dieser einen Richtung entgegen.

Aus Alledem erhellt indess zur Genüge die in zweiter Linie hervorgehobene Wirksamkeit der Absorptionskräfte, die wir als eine gewisse *nützliche Bodenbestandtheile zurückhaltende, vor Auswaschung schützende* bezeichnet haben. Es ist Dies die Wirksamkeit, welche als die handgreiflichste von allen schon von Bronner gleich von Anfang an begriffen und hervorgehoben worden ist, und in Bezug auf welche auch zur Zeit des grimmigsten Streites über die Ursache jener Kräfte und über die Art der Stoffaufnahme durch die Wurzel niemals eine Meinungsverschiedenheit sich geltend gemacht hat. Die Anhänger der Liebig'schen Anschauungen haben z. B. gerade auf diesen Gesichtspunkt das grösste Gewicht gelegt. **)

---

menen Zuleitung zur Verdunstungsfläche eine starke Verdunstung unterhält, und daselbst dann auch die Veranlassung zu einer Anhäufung der löslichen Theilchen an der Oberfläche gegeben ist. Man kann durch vergleichende Bestimmungen dieser Theilchen die Thatsache dieser Ansammlung mit leichter Mühe constatiren.

Es ist indessen nur die Verdunstung, die hier die kapillare Flüssigkeitsleitung die Rolle eines der Ausgleichung entgegenwirkenden Vorgangs übernehmen lässt. An und für sich muss dieselbe natürlich ausgleichend wirken.

Die Erfahrungen, welche man an seit Jahrhunderten ungedüngten Marschböden gemacht hat, und die darin bestehen, dass dieselben in den oberen Schichten dennoch nicht an gewissen Pflanzennährstoffen (Kali, Phosphorsäure) verarmen, sind wohl als gute Belege für die grosse Wirksamkeit jener kapillaren Wasserbewegung in Bezug auf die Ansammlung löslicher Stoffe zu verwerthen, da in diesem Falle eine derartige Stoffvertheilung nicht durch Aufbringen von Dünger erklärt werden kann, und das blosse Verbleiben der Wurzelrückstände die beobachtete Thatsache wohl nicht völlig erklärt; vergl. Jahresber. der Agrikulturchem. 1866. p. 19.

*) Vielleicht auch mehr als einen Theil, denn die Wanderung löslicher Stoffe von Unten nach Oben kann offenbar die von Oben nach Unten überwiegen, obschon mehr Wasser den ersteren Weg geht, — einfach weil dieses bei dem Weg nach Unten keine Zeit hat, sich so vollständig zu sättigen, als bei der langsam erfolgenden kapillaren Wassersteigung. Die zu Ende der vorstehenden Anmerkung mitgetheilten Thatsachen lassen sich sogar vielleicht zu einer Begründung einer derartigen Anschauung benutzen.

**) Aus der ganzen Darstellung dieses Gegenstandes war wohl ausserdem ersichtlich, dass man trotz jener Möglichkeit, absorptionsfähige Körper zu localisiren, nicht in dem Sinne, wie Dies Zöller und Nägeli (vergl. Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 121. p. 339) und auch Stohmann (vergl. Landw. Versuchsst. 1864. p. 424) thaten, von Vegetationsversuchen mit Nährstoffen im rein absorbirten Zustande sprechen kann, wenn man auch den benützten Torf 3 Wochen mit grossen Mengen von Wasser auswäscht. Dass die absorbirten Nährstoffe nicht durch die angewandten Mengen von Waschwasser aufgelöst werden konnten, beweist doch

In dritter Linie wäre dann noch etwa (ebenfalls in Uebereinstimmung mit den Liebig'schen Ansichten) die Wirksamkeit der Absorptionskräfte in sofern zu unterscheiden, als durch dieselben *eine Anzahl von wichtigen Nährstoffen in ungelöster, aber mechanisch und chemisch ausserordentlich zugänglicher Form* (sehr fein vertheilt und durch die Wurzel leicht in Lösung überzuführen) *zurückgehalten werden* und für die Wurzel zur Verfügung stehen. Es ist die dieser Wirksamkeit zu Grunde liegende Aufnahmetheorie durchaus nicht im Widerspruch mit der andern; beide sind nothwendige Folgen sicher festgestellter Erfahrungen. Es erscheint namentlich in einzelnen Fällen, wo die wässrigen Auszüge von Ackererden einen sehr geringen Gehalt an manchen wichtigen Nährstoffen, z. B. der Phosphorsäure zeigen, *) unumgänglich nothwendig, sich die Aufnahme theilweise durch unmittelbare Wurzelthätigkeit zu denken, und auch in diesem Falle sind die Absorptionskräfte jedenfalls von ausserordentlichem Werthe.

Man denke sich in der Ackererde unverwitterte Apatitkryställchen in solcher Menge und solcher Entfernung von einander liegen, dass die Gesammtmenge der in ihnen enthaltenen Phosphorsäure der Vegetation, mit der die Erde bedeckt ist, zwar weitaus genüge, allein dass der Angriffspunkte viel zu wenige sind, um durch direkte Wurzelthätigkeit die Aufnahme einer genügenden Menge zu gestatten, so wird der Pflanzenwuchs unter dem Mangel an Phosphorsäure leiden. Wenn aber nun Umstände hinzutreten, die eine vorübergehende Lösung dieser Kryställchen in der Weise bewirken, dass die gelösten phosphorsauren Salze in Berührung mit dem feinvertheilten Eisenoxydhydrat, kohlensauren Kalk etc. wieder durch Eingehen neuer Verbindungen in ungelöster Form abgeschieden werden, so wird, wenn diese Vorgänge eine gewisse Zeit hindurch stattgefunden haben, die nun sich entwickelnde Pflanzenwelt, wenn auch jetzt keine Phosphorsäure mehr in Lösung vorhanden ist, unter weit günstigeren Bedingungen sich befinden als vorher, da die Vertheilung und die Angriffsfläche eine viel grössere geworden, das einzelne Wurzeltheilchen eine viel grössere Aussicht hat, mit phosphorsauren Salzen in Berührung zu kommen.

Ganz dieselbe Vorstellung wird man sich auch z. B. von der Wirksamkeit der Superphosphatdüngungen machen müssen, da die weitaus grösste Menge der so in die Ackererde gebrachten löslichen Phosphorsäure sofort wieder in den unlöslichen Zustand übergeht. Wenn trotzdem die so hinzugebrachte Phosphorsäure thatsächlich gegenüber der vielleicht viele hundert Mal so grossen Menge schon vorhandener

nur, dass ein Theil derselben in einen sehr schwer löslichen Zustand übergegangen war, und wenn man selbst die Concentration der nach dieser Operation noch circulirenden Nährstofflösungen als verschwindend betrachten will, so können doch offenbar durch Kohlensäurebildung im Torf und dergleichen Processe während des Vegetationsversuchs wieder Lösungen gebildet werden. Am Meisten trifft dieser Einwurf die Versuche der beiden Ersteren, welche ihren Torf bis zur Sättigung des Absorptionsvermögens mit Nährstoffen zu versehen vorgaben — als wenn dieses eine constante Grösse wäre — und jedenfalls Nährstofflösungen von erheblicher Concentration ihren Pflanzen verabreichten. Die Stohmann'schen Versuche vermögen dagegen vielleicht zu zeigen, dass auch verhältnissmässig grosse Nährstoffmengen durch direkte Wurzelthätigkeit assimilirt werden können.

*) Vergl. Hoffmann: Landw. Versuchsst. 1863. p. 193 u. Knop: Kreisl. d. Stoffs. II. p. 135; dagegen F. Schulze: Landw. Versuchsst. 1864. p. 409. Vergl. ausserdem den Schluss der vorigen Anmerkung.

Phosphorsäure Etwas zu leisten vermag, so kann Dies eben nur auf die eben angedeutete Weise erklärt werden.

Auf diese drei von uns unterschiedenen Gesichtspunkte muss die Wirksamkeit der Absorption in der Ackererde zweifellos zurückgeführt werden, und wir haben den so gewonnenen Ueberblick über die Vielseitigkeit der Leistungen jener Kraft dem Umstand zu danken, dass wir die von allen in Bezug auf den behandelten Gegenstand streitenden Parteien beigebrachten Thatsachen gleichmässig berücksichtigt, den ausgesprochenen Anschauungen an sich aber keine Beachtung geschenkt haben.

Aus der gegebenen Darstellung vom Wesen und von der Wirksamkeit der Absorptionsvorgänge ist ausserdem noch klar ersichtlich, dass wir kein Mittel besitzen, Bodenlösungen aus Böden von dem Feuchtigkeitsstande einer gewöhnlichen Ackererde zu gewinnen und hinsichtlich ihrer Concentration zu untersuchen, und dass, wo man dergleichen Untersuchungen in's Werk zu setzen vorgab, oder wo man sich in dieser Hinsicht von dem ermittelten Gehalt der Lysimeterwässer an Nährstoffen einen Rückschluss erlaubte, Dies immer mit Versündigung gegen den von uns erkannten Satz der Relativität von Bodenlösungs-Mengen und Concentrationen einerseits und der Absorptionsgrössen andererseits geschehen ist. Wir würden höchstens im Stande sein, bei einer genaueren Kenntniss vom Chemismus der Absorptionserscheinungen aus dem Gehalt der wässrigen Extrakte die Concentrationen der wirklich bestehenden Bodenlösungen annähernd zu berechnen, und können auch jetzt schon den Schluss machen, dass unter allen Umständen Böden, welche verhältnissmässig gehaltreiche Extrakte, Drain- und Lysimeterwässer geben, ceteris paribus auch gehaltreiche Bodenlösungen enthalten müssen. Von diesem Gesichtspunkt aus haben die Drainwässer in ihrer Zusammensetzung ein gewisses Interesse für die Beurtheilung der Fruchtbarkeit eines Bodens, wenn auch der hohe Substanzgehalt der Drainwässer zu gewissen Perioden (kurz nach der Vornahme einer Düngung) ebenso sehr auf den Mangel eines ausreichenden Absorptionsvermögens schliessen lässt.

Die Mittheilung der Resultate wenigstens einiger Drainwasseranalysen wird daher völlig am Platze erscheinen.

Kroker analysirte einige Drainwässer aus der Umgegend von Proskau und fand in 1000 Theilen Wasser folgende Theile von gelösten Bestandtheilen: *)

	1	2	3	4	5	6
Org. Substanz	0,025	0,025	0,016	0,006	0,063	0,056
Kohlens. Kalk	0,084	0,084	0,127	0,079	0,071	0,084
Schwefels. Kalk	0,208	0,210	0,114	0,017	0,077	0,072
Salpeters. Kalk	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Kohlens. Magnesia	0,070	0,069	0,047	0,027	0,027	0,016
Kohlens. Eisenoxydul	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001
Kali	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,006
Natron	0,011	0,015	0,013	0,010	0,005	0,004
Chlornatrium	0,008	0,008	0,007	0,003	0,001	0,001
Kieselsäure	0,007	0,007	0,006	0,005	0,006	0,005
Summe:	0,421	0,425	0,337	0,153	0,258	0,247

*) Vergl. Jahresber. d. Chemie. 1853. p. 742.

1 und 2 ist Drainwasser eines thonigen Bodens mit kalkhaltigem Untergrund, zu verschiedenen Zeiten gesammelt, 3 ein Drainwasser von demselben Boden, gemischt mit dem eines humosen Thonbodens, 4 von einem andern Boden mit kalkhaltigem Untergrund. 5 und 6 ist das Wasser aus den Wasserfurchen eines schweren Thonbodens zu verschiedenen Zeiten gesammelt, also kein eigentliches Drainwasser.

Th. Way hat in einer Reihe von Drainwässern folgende Bestandtheile gefunden. *) (Die Zahlen bezogen auf 1000 Theile.)

Kali	Spur	Spur	0,0003	0,0007	Spur	0,003	Spur
Natron	0,014	0,031	0,032	0,012	0,021	0,020	0,046
Kalk	0,069	0,103	0,086	0,032	0,036	0,083	0,186
Magnesia	0,010	0,033	0,035	0,006	0,003	0,013	0,036
Eisenoxyd und Thonerde	0,006	0,001	0,001	—	0,019	0,005	0,007
Kieselsäure	0,014	0,006	0,008	0,017	0,026	0,009	0,012
Chlor	0,010	0,016	0,018	0,012	0,018	0,017	0,037
Schefelsäure	0,025	0,074	0,063	0,024	0,018	0,045	0,138
Phosphorsäure	Spur	0,002	Spur	Spur	0,001	0,001	0,002
Ammoniak	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003

Diese und andere Analysen **) zeigen auf's Deutlichste die sehr grosse Verdünnung der unten vom Boden abfliessenden Wässer. Nur ganz vereinzelte Angaben liegen vor, nach welchen die Gesammtheit der gelösten Stoffe grösser wie ein Tausendstel gewesen wäre, und gerade die wichtigsten Nährstoffe finden sich häufig in ganz untergeordneten Mengen vor, wenn selbst die Wässer von Böden, die sich in gutem Düngungszustande befinden, stammen.

Als solche würden diese Drainwässer meistens äusserst ärmliche Nährstofflösungen vorstellen. Allein man kann doch aus ihrem Gehalt einiger Massen ersehen, dass weiter oben im Boden Lösungen von genügender Concentration vorhanden sein können, oder wie sich solche in trocknen Perioden voraussichtlich bilden werden. Als Methode zur direkten Beurtheilung der Fruchtbarkeit oder auch nur des Reichthums eines Feldes ist jedoch die Analyse der von der Ackererde ablaufenden Wässer aus bereits erläuterten Gründen nicht zu verwenden.

Wir haben im Eingang der letzten Vorlesung gesehen, dass man lange Zeit hindurch bestrebt gewesen ist, die chemische Analyse des Bodens zu einer Methode, dessen Leistungsfähigkeit der Vegetation gegenüber zu bestimmen, auszubilden, dass aber diese Hoffnungen ziemlich vollständig gescheitert sind. Wir haben auch gesehen, warum Dies nicht anders sein konnte. Es ist einfach wegen der Complicirtkeit der Ernährungsverhältnisse der Pflanze im Boden unmöglich, ein Lösungsmittel aufzufinden, das genau Das leistet, was die Pflanzenwurzel im Boden und die chemische Thätigkeit daselbst während einer Vegetationsperiode vollzieht, und so die Menge der während dieser Periode disponibel werdenden Stoffe zu bestimmen.

Es ist nun natürlich, dass man nach der Entdeckung und gründlichen Bearbeitung der Absorptionserscheinungen sich die Frage stellte, ob mit Hinzuziehung dieser Eigenthümlichkeiten der Ackererde, durch die experimentelle Bestimmung von

*) Aus den Mittheilungen Knop's (Kreisl. d. Stoffs. II. p. 136) umgerechnet.

**) Vergl. ebenda u. p. 137.

deren Intensität vielleicht eher ein Urtheil über die Fruchtbarkeit eines Bodens abgegeben werden könne. Schon Liebig hat diesen Gedanken ausgesprochen, und derselbe ist bis in die allerneuste Zeit stets wieder und wieder aufgetaucht. *)

Diese Frage, die einfach desshalb, weil wir es in den Absorptionskräften des Bodens mit nützlichen Bodeneigenschaften zu thun haben, ihre Berechtigung hat, die aber häufig in ganz einseitiger Weise aufgefasst wurde, lässt sich mit einem Worte abthun. Da die Absorptionskräfte nützliche Bodeneigenschaften sind, so sind sie natürlich *physische Elemente des Bodenwerths,* da sie aber nicht die einzigen nützlichen Bodeneigenschaften sind und entfernt nicht alle andern nützlichen Eigenschaften vertreten können, so sind sie selbstredend *nicht die einzigen physischen Elemente des Bodenwerths.* Es muss daher als ein ganz thörichter Gedanke verworfen werden, die Böden *lediglich* nach jenen Kräften zu bonitiren.

Es muss weiter ausgesprochen werden, dass, um eine Bonitirung von Böden auf naturwissenschaftlichem Wege vorzunehmen, es unumgänglich erforderlich ist, sämmtliche Bodeneigenschaften, die bei der Pflanzenproduktion in Betracht kommen, entweder direkt experimentell zu bestimmen oder (soweit Dies etwa schon möglich ist) deduktiv aus den experimentell bestimmten abzuleiten. Wir sind aber gleich von Anfang an, als wir von der Bodenanalyse sprachen, an der Vorausbestimmung der Bodenqualität vollständig des Umstands wegen gescheitert, weil wir kein Mittel besitzen, **) die für das Pflanzenwachsthum in einer Vegetationsperiode verfügbaren Stoffe vorauszubestimmen. Zur Kenntniss dieses wichtigsten aller hier in's Spiel kommenden Faktoren kann uns die Feststellung der Absorptionskräfte ***) ganz und gar Nichts beitragen, denn wenn selbst die im absorbtiven Zustande befindlichen Stoffe die allein verfügbaren wären, was ja sicherlich nicht der Fall ist, so besitzen wir ja auch kein Mittel zur Bestimmung dieser ersteren. Damit ist nun im Grunde das Urtheil gesprochen.

Wir erweitern also durch Feststellung der Absorptionskräfte einer Ackererde unsere Kenntnisse über die nützlichen Eigenschaften derselben, allein da wir uns die Kenntniss anderer Eigenschaften, die geradezu unentbehrlich sind, nicht verschaffen können, so können die ersteren in praktischer Hinsicht vorerst Nichts Erhebliches leisten. Ganz Dasselbe lässt sich natürlich von allen noch zu erläuternden nützlichen Bodeneigenschaften sagen, da immer jene grosse Lücke bleibt, die vielleicht niemals wird ausgefüllt werden können.

---

*) Biedermann hat jüngst (vergl. Landw. Versuchsst. 1869. p. 13) wieder die Frage aufgeworfen, ob sich auf Grund der Bodenabsorption nicht eine Bonitirung vornehmen lasse.

**) Wie ja, ein solches Mittel zu finden, logisch undenkbar ist.

***) Es ist im Gegentheile hervorzuheben, dass die Absorptionsfähigkeit einzelner Bodenarten für bestimmte Stoffe unter sonst gleichen Umständen um so grösser sein wird, je ärmer die Bodenarten an diesen Stoffen, je unfruchtbarer sie sind. Dies folgt aus den Sätzen der Vertretung der absorbirten Stoffe unter einander. — Abgesehen hiervon kann aber gesagt werden, dass eine möglichst energische Absorption für die Zwecke der Kultur durchaus nicht der günstigste Fall sein kann, denn es gibt eine Reihe von nützlichen indirecten Düngemitteln, deren Wirksamkeit vorzüglich in der Abschwächung der Absorptionskräfte besteht; vergl. die achtunddreissigste Vorlesung.

Wir sind beim Beginn des Studiums der sogenannten Absorptionskräfte des Bodens von dem Gedanken ausgegangen, dass es ohne deren Kenntniss nicht möglich sei, einen klaren Ueberblick über das Verhältniss der chemischen Beschaffenheit des Bodens zu dessen Fähigkeit, als Ernährer der Pflanzen zu dienen, zu gewinnen. Diese Vermuthung hat sich nicht nur bestätigt, sondern wir haben auch durch die Behandlung dieses Gegenstandes wirklich schon einen leidlichen Ueberblick bekommen über denjenigen chemischen Zustand einer Ackererde, der die erste Voraussetzung ist zu dessen Fruchtbarkeit. — In der That sind wir damit schon an das Ende des ersten Theils unserer Aufgabe der Erläuterung der Eigenschaften des Bodens als Pflanzenernährer angelangt, wenn auch zugestanden werden muss, dass unsere Vorstellungen in dieser Hinsicht noch sehr unvollkommene sind; — sie werden Dies wegen der Complicirtheit der einschlagenden Verhältnisse auch wohl noch lange Zeit bleiben.

Dreissigste Vorlesung.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Bodenwärme.

Man unterscheidet ganz allgemein neben den chemischen Eigenschaften der Ackererde, welche für den Pflanzenbau in Betracht kommen, physikalische Eigenschaften derselben, welche ebenso wichtig für deren Fruchtbarkeit sind. Wir haben Dies in einer der letzten Vorlesungen so auszudrücken versucht, dass wir die Ackererde in ihrer Eigenschaft als „Bodenapparat" von derselben in ihrer Eigenschaft als „Bodenreservoir" auseinandergehalten haben. — So werden die eben erst ausführlich besprochenen Absorptionserscheinungen nach den herrschenden Anschauungen gewöhnlich als solche physikalische Bodeneigenschaften bezeichnet und behandelt.

Es ist auch, abgesehen von diesen Erscheinungen, klar, dass zwei Böden, die sich hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften, hinsichtlich der Menge von Nährstoffen, welche sie der Vegetation zur Verfügung stellen, einander ganz gleich sind, sich doch dem Pflanzenwachsthum gegenüber sehr verschieden verhalten können. Der Boden ist für die Pflanze mehr als eine blosse Nährstoffquelle, er ist gleichzeitig der Träger und Vermittler einer grossen Reihe von andern Vegetationsbedingungen. Wenn wir uns in's Gedächtniss zurückrufen, was es ausser den (in der Reichhaltigkeit ihrer Lieferung von den chemischen Eigenschaften des Bodens abhängigen) Pflanzennährstoffen, noch für unerlässliche Vegetationsbedingungen gibt, und welche dieser Bedingungen noch von den Bodeneigenschaften abhängig, d. h. also nicht rein atmosphärische sind, so kommen wir ungefähr zu folgendem Resultate:

Die *Wärme*, die einer Pflanze zur Verfügung steht, und von deren Menge und Gleichmässigkeit das Pflanzenwachsthum, wie wir ausführlich dargelegt haben, abhängig ist, wird nicht allein durch klimatische Verhältnisse, sondern auch durch die

Eigenschaften des Bodens bedingt. Das physikalische Verhalten des Bodens der ihm zugeführten Wärme gegenüber ist also einer Untersuchung zu unterwerfen.

Einige Nährstoffe atmosphärischen Ursprungs sind in der Reichhaltigkeit ihrer Zuführung ebenfalls von physikalischen Bodeneigenschaften abhängig. In erster Linie ist hier zu nennen das *Wasser*, für welches der behauptete Sachverhalt klar ersichtlich ist, wenn man sich erinnert, dass der Landwirth von trocknen und nassen Böden spricht.

Für die andern atmosphärischen Nährstoffe ist dies Verhältniss weniger hervortretend und keiner besonderen Behandlung werth. Aber jedenfalls ist die Menge der Kohlensäure, welche in dem Regenwasser gelöst auf die Grundstücke niederfallend denselben verbleibt und daselbst der Vegetation (und chemischen Reaktionen *) in der Ackererde) zu Gute kommt, auch von den physikalischen Eigenschaften der Ackerkrume abhängig, und ebenso theilweise die Salpetersäure und das Ammoniak des Regenwassers. In einem durchlässigen Boden werden im Allgemeinen mit dem Wasser auch die darin aufgelösten Stoffe verhältnissmässig rasch verloren gehen. Endlich ist auch von den physikalischen Eigenschaften der Ackererde die Zufuhr des atmosphärischen Sauerstoffs zu den unterirdischen Pflanzenorganen, dessen die meisten Gewächse nicht entrathen können, abhängig. Dies ist indessen ein Verhalten, das ebensowenig einer besonderen Behandlung würdig erscheint, da diejenigen physikalischen Eigenschaften der Ackererde, welche wir als *Durchlüftung* derselben bezeichnen hönnen, schon aus ganz anderen Gründen geboten erscheinen.

Schliesslich wäre nun noch wenigstens daran zu erinnern, dass eine gewisse mechanische Beschaffenheit der Krume schon durch die Eigenthümlichkeiten der Bewurzelung der angebauten Gewächse erforderlich ist, dass nur in einer pulverförmigen Masse die Wurzeln eindringen, sich weit verzweigen und zugleich den nöthigen Halt gewinnen können, dessen die Pflanze draussen in der Natur durchaus bedarf. — Dies sind indessen Dinge, die so selbstverständlich erscheinen, dass blosse Andeutungen zu ihrer Erledigung genügen, **)

---

*) Strenggenommen sind chemische und physikalische Bodeneigenschaften in Bezug auf die Pflanzenernährung gar nicht scharf auseinander zu halten. Der Reichthum eines Bodens an Wasser wird ausser durch klimatische Eigenschaften wesentlich nur durch physikalische Bodeneigenschaften regulirt. Allein von der Menge dieses Wassers und der in ihm enthaltenen Kohlensäure muss der Verlauf der chemischen Reaktionen in der Krume und somit die Menge und chemische Form von Nährstoffen, die zur Verfügung stehen, wesentlich abhängig sein. Umgekehrt werden ja die physikalischen Eigenschaften von der chemischen Zusammensetzung und dem Verlauf der chemischen Reaktionen bedingt sein.

**) Man ist zwar gewohnt, ausser den hier zu besprechenden noch eine ganze Reihe von physikalischen Bodeneigenschaften als für das Pflanzenwachsthum in Betracht kommend eingehenden Ermittelungen zu unterwerfen. Man bestimmt das scheinbare und wirkliche spezifische Gewicht, die Festigkeit, die Zähigkeit, Ausdehnung und Zusammenziehung bei Wasser-Aufnahme und Abgabe, ja sogar die Adhäsion der verschiedenen Bodenarten an anderen Körpern. Allein man verfährt mit diesen Ermittelungen häufig ziemlich kritiklos und ohne zu bedenken, ob denn eine erwähnenswerthe Beziehung dieser Eigenschaften zu dem Verhalten der Bodenarten dem Pflanzenwachsthum gegenüber thatsächlich besteht, wenn auch nicht geläugnet werden soll, dass es für einen Theil jener Eigenschaften, solche Beziehungen nachzuweisen, möglich ist. Manche dieser Eigenschaften kommen für die Möglichkeit einer

Wir haben es also wesentlich in unsern Betrachtungen der physikalischen Eigenschaften der Ackererde (soweit sie für die Bodenfruchtbarkeit von Belang sind) mit dem Verhalten derselben gegen die *Wärme* und das *Wasser* zu thun, und wir gehen mithin zur Behandlung dieser speziellen Eigenthümlichkeiten über.

Wenn uns zunächst die Aufgabe zufällt, den Einfluss zu untersuchen, welchen die verschieden geeigenschafteten Böden auf die Temperaturverhältnisse, denen die auf diesen Böden wachsenden Pflanzen unterworfen sind, ausüben, so müssen wir uns vor Allem an die Abhängigkeit erinnern, in welcher das Pflanzenwachsthum von den Temperaturverhältnissen sich befindet und besonders unser Augenmerk auf *diejenigen Temperaturgrenzen richten, die bei der praktischen Landwirthschaft* (vorzüglich unserer Zonen) *fühlbar werden.* Nur die Berücksichtigung dieser *realen* Verhältnisse wird unsere Kenntniss von jener Abhängigkeit, welche wir uns in den beiden letzten Vorlesungen des ersten Theiles verschafft haben, zu einer fruchtbaren machen.

Wir haben in jenen Vorlesungen gesehen, dass für einen jeden physiologischen Process eine theoretisch nicht vorauszubestimmende und für verschiedene Pflanzen sehr verschiedene untere und obere Grenztemperatur existirt, jenseits welcher er sistirt wird, dass in gleicher Weise auch die Lebensfähigkeit des ganzen pflanzlichen Organismus durch zwei jene einschliessenden Temperaturgrenzen regiert wird. Allein von diesen beiden Grenztemperaturen kommen für unsere klimatischen Verhältnisse, welche wir ja in erster Linie im Auge behalten wollten, praktisch nur die untere in Betracht. Die obere Grenztemperatur, die einem pflanzlichen Organismus völlig den Garaus macht, scheint auch in den heissesten Länderstrichen niemals erreicht zu werden; und wenn es auch nach den vorliegenden und theilweise seiner Zeit mitgetheilten Beobachtungen als wahrscheinlich gelten muss, dass unter natürlichen Verhältnissen die Pflanzen manchmal auf Temperaturen erwärmt werden, die für den Verlauf einiger Vegetationserscheinungen weniger günstige sind, so ist ein Eintreten derartiger Zustände doch für unsere Himmelsstriche so verschwindend selten, gegenüber der entgegengesetzten Erscheinung, dass sie geradezu vernachlässigt werden können, und für die heissen Klimate liegen noch zu unvollständige Beobachtungen über das Wärmebedürfniss der dort einheimischen Pflanzen vor, als dass jene Möglichkeit hier eine ausgedehnte Berücksichtigung erfahren dürfte. Ueberall, wo Pflanzen, wenn wir von der künstlich gehegten Flora, die in nordischen Klimaten und auf hohen Bergen zu Hause ist, absehen, nach der wenig exakten Ausdrucksweise des gewöhnlichen Lebens durch Hitze zu Grunde gehen, kann man ruhig der bei starker Hitze*) sich geltend machenden Trockenheit die Schuld beimessen; denn

Pflanzenwurzel, in den Boden einzudringen und sich zu verbreiten, theilweise dieselben auch für die Bodenbearbeitung in Betracht u. s. w.; für andere ist dagegen keine klare und einfache Beziehung zu einem derartigen Verhalten zu ersehen. Jedenfalls sind diese Beziehungen aber nicht der Art, dass ich einen erheblichen Nutzen von der theoretischen Erläuterung derselben erwarte. Ich übergehe daher jene Eigenschaften mit Stillschweigen und verweise die Wissensdurstigen auf andere Werke, in denen denselben Beachtung geschenkt wurde, z. B. E. Wolff: Anleitung zur chem. Untersuch. etc. 1867, p. 70—72.

*) Einzelne Schädigungen, die wir in Folge des Sonnenbrands an Kulturgewächsen wahrnehmen, werden sich indessen vielleicht nicht auf diesen Gesichtspunkt zurückführen lassen, wie z. B. für „Sonnenbrand“ an Tabakblättern und Weintrauben, sondern wohl auf eine zu rasche Temperaturerhöhung nach vorhergehender Beschattung durch andere Pflanzentheile.

angestellte Versuche lehren, dass die meisten Pflanzen ausserordentlich hohe Temperaturen aushalten können, wenn man die Erwärmung unter gleichzeitiger Abschwächung der Transpiration vornimmt und so die Pflanzen vor Austrocknung schützt.

Es ist aber umgekehrt Jedermann bekannt, dass die untere Temperaturgrenze, welche dem Gedeihen der Pflanzen eine Schranke setzt, unter den realen Verhältnissen unserer Klimate sehr häufig thatsächlich erreicht wird.

Manch' eine Pflanzung wird durch Frost beschädigt und besonders die Winzer und Obstbaumzüchter wissen davon zu erzählen; — Beweis genug dafür, dass die untere Grenztemperatur, jenseits welcher Pflanzen oder Pflanzentheile geradezu zu Grunde gehen, häufig erreicht werden. Allein nicht blos das *Absterben* der Pflanzen in Folge von Kälte kommt hier in Betracht; aus unserer früheren Behandlung geht zugleich hervor, dass eine Reihe von physiologischen Processen bei niedriger Temperatur mit einer geringen Intensität, also unvollständig verlaufen und zwar bei Temperaturen, die durchschnittlich viel öfter erreicht werden müssen. Es ist in der That kaum nöthig, Beispiele anzuführen. Es ist ja weltbekannt, dass Trauben im mittleren Deutschland in kalten Jahren nicht zur Reife kommen, weil der Zuckerbildungsprocess unvollständig verläuft. Jedermann weiss, dass unser Getreide und jede beliebige andere Pflanze in kalten Perioden kein gedeihliches Wachsthum zeigt, ohne dabei gerade zu Grunde zu gehen, und früher haben wir schon auseinandergesetzt, dass auch die Ausbildung des Chlorophyllorgans und selbst die Zunahme an organischer Substanz von gewissen Temperaturen abhängig ist, die praktisch häufig nicht erreicht werden.

Es ist an dieser Stelle noch besonders hervorzuheben, dass auch die oberirdischen Pflanzentheile, welche also nicht direkt vom Boden umgeben sind, doch in ihren Temperaturverhältnissen ganz vorzugsweise von dem Verhalten dieses gegen Wärme abhängig sind; da sie einen grossen Theil ihrer Wärme erst von ihm durch Bestrahlung empfangen. Diese Beziehung geht einfach hervor aus den Eigenthümlichkeiten des Mediums, in welchem sich diese oberirdischen Pflanzentheile befinden, der atmosphärischen Luft. Diese ist fast ohne Absorptionsvermögen für Wärmestrahlen, von sehr geringer Wärmekapacität und desshalb fast ohne Einfluss auf die Erwärmung von ihr eingeschlossener Gegenstände. Die Abhängigkeit der Temperatur der Pflanzen von der des Bodens, auf dem sie wachsen, ist indessen nicht so gross, dass sie nur *allein von dieser* bedingt wäre. Namentlich vermögen die höchsten Pflanzentheile bei nächtlicher Strahlung in den Weltenraum ziemlich selbstständige Temperaturen anzunehmen. *)

Aus dem vorhin Gesagten folgt aber unfehlbar, **) dass diejenigen Böden, welche durch ihre Eigenschaften hohe Temperaturen begünstigen, bei Gleichheit der übrigen

*) Vergl. über diesen Gegenstand die 22ste Vorlesung p. 381.

**) Es ist ferner nicht ganz ausser Augen zu lassen, dass die Temperatur eines Bodens nicht blos direkt für die auf ihm wachsenden Pflanzen in Betracht kommt, sondern auch für die Vorgänge chemischer und physikalischer Natur, welche in der Ackererde sich abwickeln und von deren Verlauf die Fruchtbarkeit derselben mit abhängt. Diesem Gesichtspunkt wird von Mulder eine etwas übertriebene Wichtigkeit beigelegt; vergl. dessen Chemie d. Ackerkrume B. III. p. 388.

in ihnen enthaltenen Vegetationsbedingungen im Allgemeinen die fruchtbarsten*) sein werden, da sie geeignet sind, die auf ihnen wachsenden Pflanzen denjenigen Temperaturen näher zu bringen, die für ihr Gedeihen die förderlichsten sind, so verschieden das Wärmebedürfniss der einzelnen angebauten Gewächse auch immer sein mag. Wir werden also zu untersuchen haben, welche Bodenarten sich in dieser Hinsicht am Günstigsten verhalten, welcher Natur die „warmen" Böden sind, um auf diese Weise ein Urtheil darüber zu gewinnen, welche Massregeln es gibt, die Bodeneigenschaften in jener Richtung abzuändern.

Als Wärmequelle für den Boden und die in ihm wurzelnden Pflanzen kommen möglicher Weise in Betracht: *die Sonnenwärme, die Wärme in Folge chemischer Processe in der Ackerkrume* und dann etwa noch *die innere Erdwärme.*

Die Sonne bestrahlt die Erdoberfläche und erwärmt dieselbe je nach der geographischen Breite und nach Durchstrahlbarkeit der Atmosphäre in verschiedenem Grade. Die durch das Bestreben nach Wärmeausgleichung hervorgerufenen, durch die eigenthümliche Configuration der Oberfläche der Erde, durch die Umdrehung dieser letzteren mannigfaltig und regelmässig abgelenkten Luft- und Wasserströmungen modificiren die an jedem einzelnen Orte herrschende Temperatur vielfältig. Alle diese Faktoren zusammen bestimmen die *klimatischen* Wärmeverhältnisse irgend eines Ortes. Soweit bleiben spezifische Bodeneigenthümlichkeiten noch ganz und gar aus dem Spiel.

Die Neigung eines Terrains gegen die einzelnen Himmelsstriche bringt dann, wie wir schon früher**) hervorgehoben haben, einen neuen, ausserhalb der klimatischen Verhältnisse liegenden Faktor hinzu. Der Südhang eines Thals***) empfängt von der Sonne wegen der mehr der senkrechten sich nähernden Bestrahlung auf die Flächeneinheit eine grössere Wärmemenge als die Ebene und die Grundstücke von einer andern Neigung, und in dem gleichen Sinne wirkt auch der daselbst sich geltend machende grössere Schutz vor rauhen Winden. Für eine ganze Reihe von Kulturen ist dieser einzige Unterschied entscheidend, ob dieselben überhaupt möglich sind. †) Die nach Süden abfallenden Grundstücke stehen daher ziemlich allgemein und besonders da, wo es sich um solche wärmebedürftigen Kulturen handelt, sehr viel höher im Preis, als jene andern und documentiren so den vorhin ausgesprochenen

*) Vergl. in dieser Hinsicht die interessanten Mittheilungen von Gasparin und Creuzé Latouche über die Weinkultur auf hellem und dunklen Boden in des ersteren Cours d'agriculture 1843. T. I. p. 179.

**) Siehe die vierundzwanzigste Vorlesung p. 5.

***) Wenn wir die Verhältnisse der nördlichen Halbkugel hier beispielsweise herausgreifen.

†) Boussingault hat indessen darauf aufmerksam gemacht (vergl. Écon. rur. II. Édit. I. p. 635), dass in Schottland und der Schweiz die Nordabhänge des Gebirges fruchtbarer sind, als die Südabhänge, und Dies naturgemäss aus dem grösseren Temperaturwechsel erklärt, dem solche Lagen (namentlich wo rauhe Winde wehen) ausgesetzt sind. — Aehnliche Erfahrungen werden vom Harz mitgetheilt, wo die Waldbestände des Südhangs wegen frühzeitiger Entwickelung dem Erfrieren ausgesetzt sind. — Vermuthlich gilt Dasselbe auch für etwas südlichere Gegenden, wo jene unteren Grenztemperaturen seltner mehr erreicht werden, und die grosse Wasserarmuth der von der Sonne ausgedörrten Lagen in Betracht kommt.

Satz, dass für die Ackerbau- und Gartenbau-treibenden Gegenden der gemässigten Zone weit eher die niedrigen Temperaturen zu fürchten sind, als die hohen.

In ganz ähnlicher Weise wirken die vor kalten Winden schützenden Terrainerhebungen auf einer oder mehreren Seiten eines Grundstücks, die besonders im nördlichen Deutschland eine Bedeutung gewinnen. Die Neigung des Bodens gegen den mittleren Stand der Sonne und dessen Schutz gegen rauhe Winde sind spezifische Bodeneigenschaften (wenn auch nicht Eigenschaften der Ackerkrume), die auf die Fruchtbarkeit desselben einwirken und welche man auch gelegentlich durch künstliche Massregeln zu erreichen sucht. — In Gegenden, deren physische und wirthschaftliche Verhältnisse zu einer intensiven Weinkultur drängen, sind kostspielige Erdarbeiten zur Veränderung der Neigung eines Grundstücks nicht ganz ungewöhnlich, und in rauhen windigen Gegenden sind schützende, mit Hecken bepflanzte Einfriedigungen überaus häufig.

Neben diesen in der Terraingestaltung liegenden, auf die Temperatur der Grundstücke einen Einfluss übenden, spezifischen Bodeneigenthümlichkeiten, kommen nun aber die physikalischen Eigenschaften der *Ackerkrume* selbst in hohem Masse für uns in Betracht, umso mehr, als auf die Abänderung dieser Bodeneigenschaften sich vorwiegend unsere wirthschaftlichen Massregeln beziehen.

Alle übrigen Umstände einander gleich gesetzt, wird ein Boden bei Bestrahlung durch die Sonne *umso mehr Wärme zurückhalten, je weniger Licht- und Wärmestrahlen von seiner Oberfläche zurückgeworfen werden, je grösser sein Absorptionsvermögen für Wärme ist.* Alle Strahlen, die nicht zurückgeworfen werden, verbleiben dem Boden, da derselbe nicht erheblich durchstrahlbar, die Wärmeleitung in demselben eine sehr langsame ist, also nicht, wie durch die Luft Wärmestrahlen durch ihn hindurchgehen können, ohne ihn selbst zu erwärmen. *) Mit diesem Absorptionsvermögen des festen Bodens, das gegenüder dem der Luft, namentlich, wenn diese klar und wasserarm ist, ein ungeheures ist, hängt dann selbstredend der bei Sonnenschein so auffällige Temperaturunterschied zwischen Boden und Luft zusammen. Schübler, der sich um die Ermittelung der physikalischen Bodeneigenschaften überhaupt sehr verdient gemacht hat, stellte durch alle Monate des Jahres hindurch vergleichende Beobachtungen über Boden- und Lufttemperatur im Sonnenschein an, und obgleich wir gegründete Vermuthung haben müssen, dass die Lufttemperaturen nach den damals üblichen Messungsmethoden **) etwas zu hoch angegeben sind, so konnte doch ein mittlerer Temperaturunterschied von etwa

*) Nichts vermag dieses Verhalten besser zu demonstriren als die Thatsache, dass auf die Temperaturen von Erdschichten, die nur sehr wenig tief unter der Erdoberfläche liegen, die Jahreszeiten keinen Einfluss zu üben vermögen. Die obersten Schichten constanter Temperaturen liegen unter den Tropen nur wenige Fusse unter der Erdoberfläche, in den den Polen näher liegenden Länderstrichen, wo die Unterschiede zwischen jährlichen Wärmeperioden scharf hervortreten, beträchtlich tiefer; man schätzt 80 Fuss im Maximum, vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs I. p. 469; ebenso Bischof: Geologie B. I. p. 79.

**) In Folge der schwer zu vermeidenden Strahlung fester Gegenstände gegen den im Schatten aufgehängten Thermometer; vergl. die zweiundzwanzigste Vorlesung p. 382.

22° C*) zwischen beiden Medien, im Maximum über 30° C constatirt werden. Das Gleiche lehrt aber auch die tägliche Erfahrung, wenn wir bei beliebig vielen Graden Kälte in der Februarsonne dennoch starkes Thauen eintreten sehen, und im Grunde schon die jedem Kinde bekannte Thatsache, dass wir im Sonnenschein eine stärkere Wärme empfinden als im Schatten, da eben unser Leib, unsere Kleider feste Körper von starkem Absorptionsvermögen sind, und von einer erheblichen Temperaturdifferenz der mit einander communicirenden Luft in der Sonne und im Schatten selbstverständlich nicht die Rede sein kann. Auf dieselbe Thatsache ist endlich die grössere Kälte in grösserer Höhe der Atmosphäre zurückzuführen.

Verschiedene feste Körper haben aber nun ein verschiedenes Absorptionsvermögen. Jedermann weiss, dass wenn man sich in einem schwarzen Rocke der Bestrahlung durch die Sonne aussetzt, man ein intensiveres Gefühl von Wärme empfindet, als man Dies in einem hellfarbigen, von sonst gleicher Beschaffenheit thut. Man kann sich auch bei Bodenarten leicht durch vergleichende Beobachtung von der sehr verschiedenen Befähigung, Wärme zu absorbiren, überzeugen, wenn man dieselben nebeneinander in der Sonne ausbreitet und vergleichende Untersuchungen anstellt. Es ist Dies zwar keine ganz exakte Methode, da wegen der Verschiedenheit der spezifischen Wärme der einzelnen Bodenarten, bei gleicher Wärmeabsorption die Temperaturerhöhung eine verschiedene sein kann. — Allein nimmt man trockne Böden, oder Böden von annähernd gleichem Wassergehalt, so sind die Unterschiede der spezifischen Wärme nicht erheblich genug, dass sie den Sinn der Beobachtungsresultate zu ändern im Stande wären.

Schübler hat nun solche Beobachtungen angestellt, und im direkten Sonnenschein bei einer Lufttemperatur von 25° C folgende Temperaturen für die einzelnen von ihm verwendeten getrockneten Bodenarten gefunden.

Graugelber Quarzsand	44,7°	Weisse feine Kalkerde	43,0°
Weissgrauer Quarzsand	44,5°	Schwarzbrauner Humus	47,4°
Hellgrauer Gyps	43,6°	Gartenerde	45,2°
Magerer Thon	44,1°	Bläulicher Thon	45,0°
Fetter Thon	44,5°	Ackererde von Hofwyl	44,2°
Graugelber Thonboden	44,6°	Ackererde vom Jura	43,7°

Die Unterschiede sind, wie man sieht, keine sehr bedeutenden, aber doch sehr deutlich zu constatirende. Es ist leicht zu erkennen, dass die dunkeln Bodenarten sich am Stärksten, die hellen am Langsamsten erwärmen.**) Man braucht nur die Temperatur des schwarzbraunen Humus mit der des Gypses und der Kalkerde zu vergleichen.

*) Dem entsprechend wurden in heissen Ländern Maximaltemperaturen des Bodens von 59°—67° C. beobachtet; vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs. I. p. 466; übrigens will Schübler in Deutschland (Tübingen) ein ebenso hohes Maximum 54° Reaumur beobachtet haben (vgl. dessen Grundsätze d. Agrik.-chemie 1830. II. p. 91 u. Sprengel: Die Bodenkunde etc. 1837. p. 300.

**) Ich erinnere auch an den von de Saussure mitgetheilten Gebrauch der Bewohner Chamouni's, die auf ihre mit Schnee bedeckten Felder schwarzen Schieferstaub ausstreuen, um denselben in der Sonne rascher zum Schmelzen zu bringen. Aehnliche indess anders gedeutete Beobachtungen theilt Senft aus der Rhön mit; vergl. Landw. Jahresbericht 1867—68. p. 44.

Mit noch grösserer Deutlichkeit ergibt sich dieselbe Thatsache aus Versuchen, die Gasparin*) mittheilt. Zu denselben wurden die verschiedensten Erdarten benutzt, die an der Oberfläche durch etwas Russ geschwärzt und vergleichungsweise mit etwas Magnesia weiss gemacht waren, und so dem Sonnenschein ausgesetzt wurden. Die Resultate waren:

Erdarten	weisse Oberfläche.	Schwarze Oberfläche.	Temperaturunterschied.
Quarzsand	43°,25	50°,87	7°,62
Kalksand	43°,25	51°,12	7°,87
Gyps	43°,50	51°,25	7°,75
Thon	41°,25	48°,87	7°,62
Kalkboden	42°,85	50°,50	7°,65
Humose Erde	42°,50	49°,38	6°,88
Erde vom Jura	42°,85	50°,50	7°,65

Diese Versuche zeigen wie keine anderen, wieviel bei der Erwärmung in der Sonne von der Färbung der bestrahlten Oberfläche abhängt und wie dagegen die übrigen Eigenthümlichkeiten des Bodens, spezifische Wärme, Wärmeleitungsfähigkeit als die Erwärmungstemperatur mit bestimmend in den Hintergrund treten. Die schwarze oder weisse Färbung der Oberfläche hat im Durchschnitt über 7° C Temperaturunterschied bewirkt, während der bedeutendste Unterschied zwischen Böden mit gleichgefärbter Oberfläche, nemlich zwischen Gyps und Thon mit schwarzer Oberfläche nur 2°,38 beträgt.

Wollte man nun allerdings den Gegenstand streng theoretisch behandeln, so müsste man hervorheben, dass die Absorptionsfähigkeit der festen Körper für Wärmestrahlen nicht allein durch diese äusserlich erkennbare Färbung bedingt ist, dass namentlich neben substanziellen Eigenthümlichkeiten, welche nicht unmittelbar durch unsere Sinne wahrgenommen werden können, die mechanische Beschaffenheit der absorbirenden Oberfläche wesentlich in Betracht kommt. Allein für unsern speciellen Zweck muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass alle Ackererden mehr oder weniger feinpulverige Körper sind, von ziemlich gleicher Rauhheit der Oberfläche, und dass es für denselben genügt, in Bezug auf Wärmeabsorption auf den einen Gesichtspunkt: *hell* und *dunkel* hinzuweisen. Derselbe ist dazu so unmittelbar verständlich, dass man keine besonderen Anstrengungen zu machen braucht, ihn dem Gedächtniss einzuprägen. Ein heller Körper ist eben desshalb *hell,* weil er nur dunkle Wärmestrahlen absorbirt, die leuchtenden, gleichfalls der Wärmewirkung fähigen sehr vollständig zurückwirft; — ein dunkler Körper erscheint desshalb *dunkel,* weil er auch diese letzteren absorbirt und zur Wärmewirkung verwendet. Dass er sich also bei Bestrahlung stärker erwärmt, ist ebenso wie seine dunkle Färbung ein äusserlich wahrnehmbares Symptom eines und desselben Vorgangs.

Von der Absorptionsfähigkeit eines Ackerbodens, welche durch dessen Färbung im Wesentlichen bedingt wird, ist nun aber die Temperatur, bis zu welcher sich ein solcher Boden im Sonnenschein erwärmt, allein nicht abhängig, denn Zufuhr einer gewissen Wärmemenge entspricht durchaus nicht einer gewissen Temperaturerhöhung. Es sind, um zu letzterer zu gelangen, noch wesentlich 3 Momente zu berücksichtigen

*) Vergl. dessen Cours d'agriculture 1843. T. 1. p. 182.

nothwendig: *die spezifische Wärme der Ackerkrume* (oder deren Wärmekapacität), *der Verbrauch von Wärme* durch Leistung von Arbeit in der Ackererde und *die Wärmeleitung*.

Wir haben zwar vorhin hervorgehoben, dass die eigentlichen festen Bestandtheile der Ackererde nicht so verschiedene spezifische Wärmen besitzen,*) dass hierdurch ein sehr merklicher Einfluss auf die Temperaturerhöhung bei Bestrahlung ausgeübt werden könnte. Die mitgetheilten Zahlen hätten ja sonst nicht jene Beziehung zur Färbung der Substanz so deutlich zeigen können.

Allein es ist zu berücksichtigen, dass die Ackererde nicht aus diesen festen Theilen allein besteht, dass sie in der Form, in welcher sie zum Pflanzenbau dient, stets tropfbar flüssiges Wasser in sich enthält. Das Wasser zeichnet sich aber durch seine hohe spezifische Wärme andern Stoffen gegenüber ganz besonders aus. Während man dem trocknen Erdboden ungefähr durchschnittlich eine spezifische Wärme von 0,25 beilegt, besitzt das Wasser (dessen Wärmekapicität als Einheit jenen Berechnungen zu Grunde gelegt wurde) eine solche von 1,00, also gerade eine *viermal so grosse*; d. h. ist genau viermal so viel Wärme dazu erforderlich, um Wasser über eine gewisse Temperaturhöhe zu erwärmen, als Dies mit der trocknen Erde der Fall ist, und absorbiren beide, Wasser und Erde bei einer Bestrahlung von Aussen die gleiche Wärmemenge, so ist die Temperaturerhöhung der Erde viermal so gross als die des Wassers.

Ich will hier beiläufig erwähnen, dass auf dies verschiedene Verhalten des Wassers und der festen Bestandtheile der Erde bei Erwärmung und Abkühlung grossentheils die auffälligen Unterschiede zwischen See- und Continental-Klima zurückgeführt werden können, indem das Wasser mit seiner grossen Wärmekapacität den Temperaturschwankungen, wie sie die verschiedenartige Bestrahlung herbeizuführen bestrebt ist, grossen Widerstand entgegensetzt, die feste Erde denselben Folge leistet.

Dasselbe Verhalten macht sich nun auch in der feuchten Ackererde geltend und bewirkt in derselben eine erheblich langsamere Erwärmung, da bei Absorption der gleichen Wärmemenge die Feuchtigkeit der Ackererde eine viel grössere Menge dieser Wärme beansprucht, um ihre Temperatur zu erhöhen, als die festen Bodentheilchen.

Zugleich wirkt noch ein andrer Umstand in derselben Richtung. Wir haben soeben einen zweiten bei Ermittlung der wirklichen Temperaturerhöhung zu beachtenden Punkt, die Leistung der Wärme in der Ackererde, die dieselbe sonst etwa vollziehe, hervorgehoben. Ich habe dabei die Verdunstung des Wassers, die bei gesteigerter Temperatur mit grösserer Energie von Statten geht, im Auge gehabt. Eine feuchte Ackererde wird nicht blos wegen der grossen spezifischen Wärme des Wassers sich langsamer erwärmen als eine trockene, sie wird auch durch die in diesem Falle mögliche und bei steigender Temperatur steigende Verdunstung einen

*) In Bezug auf die verschiedene Wärmekapacität trockner und lufttrockner Erdarten hat Pflaundler (Poggend. Ann. B. 129. p. 102 u. Jahresber. f. Agrik. chemie 1866. p. 54) vergleichende Zahlen mitgetheilt, aus denen hervorgeht, dass nur sehr humose Erden beträchtlich höhere spezifische Wärmen besitzen als die übrigen sonst sehr gleichmässig sich verhaltenden Erdarten.

wirklichen Wärmeverlust erfahren, der sie noch weniger einer raschen Erwärmung zugänglich macht.

Schüblers Versuche lehren auch in diesem Falle, dass dem wirklich so ist, wie die Theorie voraussehen liess, und ich theile einige seiner Zahlen mit, die unter denselben Verhältnissen wie die vorhin benutzten, also bei einer Lufttemperatur von 25 °C im direkten Sonnenschein ermittelt worden sind.

	feucht	trocken
Graugelber Quarzsand	37,2° C.	44,7° C.
Hellgrauer Gyps	36,2°	43,6°
Fetter Thon	37,2°	44,5°
Weisse feine Kalkerde	35,6°	43,0°
Schwarzbrauner Humus	39,7°	47,3°

Man sieht aus der Vergleichung beider Zahlenreihen,*) dass, während sich die trocknen Böden durchschnittlich 20° über die Temperatur der Luft erhoben hatten, die feuchten Böden im Durchschnitt nur 13° wärmer geworden sind. Dieser bedeutende Unterschied muss eben auf die beiden betonten Gesichtspunkte zurückgeführt werden, und nun ist uns die landläufige Erfahrung leicht verständlich, welche die nassen Böden zugleich als die kalten, die trocknen als die warmen bezeichnet und gerne von *nasskalten* Böden spricht.

Zugleich lehren jene Zahlen mit grosser Deutlichkeit, dass die Unterschiede in den Erwärmungsverhältnissen, welche durch den Wassergehalt bewirkt werden, *viel hervorragendere* sind, als die, welche durch die Färbung der Bodenarten entstehen. Ein nasser dunkler Boden erwärmt sich in der Sonne nicht so rasch, als ein trockner heller, obschon er grössere Wärmemengen absorbirt. In den Schübler'schen Versuchen hat weisse, aber trockene Kalkerde eine Temperatur von 43° angenommen, während dunkler aber feuchter Humus unter den gleichen Verhältnissen nur auf nahezu 40° erwärmt werden konnte, und Dies sind die äussersten Zahlen, welche in dieser Richtung bei natürlichen Bodenarten**) ermittelt worden sind.

Wenn wir ferner uns in unseren Betrachtungen nicht auf eine dünne Bodenschicht, die ausser allem Zusammenhang mit tiefer liegenden Schichten gedacht wird, beschränken wollen, sondern die wirkliche Sachlage in's Auge fassen, nach welcher die oberste absorbirende Fläche mit einer sehr grossen Bodenmasse in Beziehungen des Temperaturaustauschs steht, müssen wir auch in dritter Linie die *Verhältnisse der Wärmeleitung* in der Ackererde berücksichtigen, da von diesen die schliessliche Temperatur der Erdoberfläche und der tiefern, für das Pflanzenwachsthum noch in Betracht kommenden Schichten unter Anderem abhängig sein wird. — Um eine Vorstellung von dieser Wärmeleitungsfähigkeit zu gewinnen, können wir nun wieder von der spezifischen Wärmeleitungsfähigkeit der einzelnen festen Bestandtheile einer Ackererde absehen, obgleich nachgewiesen ist, dass z. B verschiedene

*) Ganz ähnliche Zahlen theilt auch Gasparin (Cours d'agriculture 1843. T. I. p. 183) mit.

**) Nur bei künstlich gefärbten haben wir vorhin grössere Unterschiede constatirt, welche unsere Folgerung natürlich unberührt lassen.

Felsarten die Wärme mit sehr verschiedener Geschwindigkeit fortleiten. Wenn man z. B. in der Tiefe von einigen Metern an Orten, wo verschiedene Felsarten unter gleichen klimatischen Bedingungen sich neben einander befinden, periodische Temperaturbeobachtungen anstellt, so kann man leicht das Eindringen der jährlichen Temperaturschwankungen bis zu sehr verschiedenen Tiefen und die Erreichung des jährlichen Temperaturmaximums zu sehr verschiedenen Zeiten in ein und derselben Tiefe*) constatiren, — Beweise genug für die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit der Felsarten, die übrigens einfach durch das direkte physikalische Experiment festgestellt werden kann. Weit auffälliger sind dann ohne jeden Zweifel die Unterschiede der Wärmeleitungsfähigkeit zwischen den mineralischen Bestandtheilen der Ackererde und den verwesenden organischen Resten in derselben.

Allein wir können für unsern Zweck von allen jenen spezifischen Unterschieden der einzelnen festen Bestandtheile der Ackerkrume absehen und lediglich auf deren poröse Struktur und Wassergehalt hinweisen. Die poröse Beschaffenheit, die staubförmige Vertheilung einer Masse erschwert die Wärmeleitung in derselben ganz ausserordentlich, weil die Berührung der einzelnen Theilchen eine höchst unvollkommene ist, und die Luft keine erhebliche Fähigkeit besitzt, die Wärme fortzuleiten. Die schlechte Wärmeleitung von Wolle, Federn und dergleichen Mittel, durch die wir Menschen uns vor rascher Abkühlung nach Aussen schützen, beruht weit mehr auf dieser feinen Vertheilung als auf der spezifischen Unfähigkeit der einzelnen festen Theilchen jener Stoffe, die Wärme zu leiten. Ein fester Fels hat daher einer Staubmasse gegenüber eine sehr hervorragende Fähigkeit, die z. B. bei der Bestrahlung absorbirte Wärmemenge in sein Inneres fortzuführen, und die letztere wird sich ceteris paribus an ihrer Oberfläche im Sonnenschein auf eine weit höhere Temperatur erheben können, als ein solcher Felsblock. Dies Verhalten konnte auch in der Natur an Granitfels und danebenliegendem, durch Verwitterung zertrümmertem Granitsand nachgewiesen werden. Die lose Masse nahm an ihrer Oberfläche eine etwas höhere Temperatur an als der massive Fels.

Nun genügt in der That der gemachte Hinweis, dass ein jeder Ackerboden ja aus einer sehr feinzertrümmerten Masse besteht, die, wenn sie auch wie Geröllböden noch viele gröbere Gesteinstrümmer einschliesst, doch an sich keine solchen Unterschiede in der Wärmeleitungsfähigkeit zeigt, dass sie für unseren Zweck in Betracht kommen könnten.

Doch noch bleibt der Einfluss des Wassers auf die Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens zu besprechen übrig, da dasselbe in freilich sehr wechselnden Mengen ein constituirender Bestandtheil einer jeden fruchtbaren Ackererde ist. Das Wasser hat bekanntlich an sich keine hervorragende Fähigkeit, die Wärme weiter zu leiten. Der leicht anzustellende Versuch, welcher darin besteht, dass man Eis, welches durch eine durchlöcherte Scheibe am Boden festgehalten wird, in einem hohen Gefässe mit warmem Wasser übergiesst und die einzelnen sich bildenden Flüssigkeitsschichten nicht weiter durch Umrühren mit einander in Berührung bringt, lehrt, dass das Eis unter diesen Umständen sehr langsam schmilzt. Die unten sich bildenden Schichten von eiskaltem Wasser haben keine hervorragende Fähigkeit, den darüber

*) Vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs I. p. 468.

liegenden wärmeren Schichten Wärme zu entziehen und so von Neuem Eis zum Aufthauen zu bringen, und es wird also auf diese Weise die geringe Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers deutlich demonstrirt. Lässt man dagegen die Eisstücke oben in dem mit warmem Wasser gefüllten Glase schwimmen, so tritt ein rasches Schmelzen ein, da nun die erkalteten Wassertheile durch ihre Schwere nach Unten sinken,*) wärmere vermöge ihrer grösseren Leichtigkeit an ihre Stelle treten, und es also bei dieser Zusammenstellung einer Wärmeleitung gar nicht bedarf, da die natürliche Circulation die Vermischung der verschieden warmen Flüssigkeitstheilchen und damit die gleichmässige Vertheilung der Wärme besorgt.

Diese beiden Versuche sind nun zugleich im Stande, uns eine ungefähre Vorstellung von der Rolle des Wassers bei der Wärmevertheilung im Boden zu verschaffen. Ist der Boden nur eben feucht, d. h. sind alle Wassertheilchen mit grossen kapillaren Kräften festgehalten und dadurch die Circulation derselben erschwert, so wird das Wasser keine erhebliche Rolle hinsichtlich der Wärmeleitung spielen können. Ein nur eben feuchter Boden wird sich hinsichtlich der Vertheilung der Wärme in einzelnen Bodenschichten ungefähr wie ein trockner, also wie ein schlechter Wärmeleiter verhalten.**) Anders muss aber die Sache sich gestalten in einem wirklich nassen Boden, wo das Wasser einiger Massen zu circuliren vermag, und hier können wir Anwendung von den eben erwähnten Versuchen machen. Wird ein solcher nasser Boden von oben durch Bestrahlung erwärmt, so werden die warmgewordenen Wassertheilchen desselben keine Veranlassung finden, eine Bewegung hervorzubringen, sie finden sich bereits in der möglichst günstigen, in der stabilen Gleichgewichtslage.

Tritt dagegen von oben her eine Erkaltung des Bodens ein, sei es nun durch kalte Winde oder durch Wärmestrahlung in den Weltenraum, von der wir gleich ausführlicher zu sprechen beabsichtigen, so werden die erkalteten obern Flüssigkeitstheilchen das Bestreben haben, ihren Ort mit tiefer liegenden wärmeren auszutauschen: die Erkaltung des Bodens wird sich in Folge dessen in grössern Tiefen fühlbar machen als die Erwärmung desselben, aber auch in Folge davon, weil so grössere Massen daran Antheil nehmen können, keine solche Extreme erreichen können wie jene. Das Ebengesagte gilt indessen nur bis zu einer Abkühlung auf + 4°C, weil von da an abwärts das Wasser wieder ein grösseres Volum einzunehmen beginnt.

Ob das angedeutete Verhalten in der Praxis irgend eine Rolle spielt, ist bei der grossen Complicirtheit der einschlagenden Verhältnisse kaum anzugeben, und es wäre auch desshalb verlorene Zeit, diesen Gegenstand näher zu beleuchten. Ebensowenig lässt sich entscheiden, ob eine hohe Wärmeleitungsfähigkeit der Ackererde

*) Da das Wasser ziemlich nahe am Gefrierpunkt seine grösste Dichtigkeit besitzt.

**) Die relative Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers zu der der einzelnen Bodenelemente ist ungenügend bekannt, doch kann sie in allen Fällen als kleiner angenommen werden (vergl. Eisenlohr: Lehrbuch. d. Physik. 1860. p. 378) als die der mineralischen Bestandtheile des Bodens. Dennoch ist die Wärmeleitung eines feuchten Bodens wohl erheblich vergrössert, da die am schlechtesten leitenden Luftheilchen einiger Massen verdrängt sind, dem Boden also gleichsam seine Porösität genommen ist.

oder eine niedrige im Allgemeinen nützlich für den Pflanzenbau erscheint. — Wir können aber hervorheben, dass für die Erwärmung des Bodens unter dem Einflusse der Bestrahlung durch die Sonne die Wärmeleitung wegen der in dieser Hinsicht ziemlich gleichartigen Beschaffenheit der verschiedenen Bodenarten und weil das Wasser bei der Erwärmung von Oben keine sehr die Wärmeleitung begünstigende Rolle spielen kann, nicht sehr wesentlich in Betracht kommt, so dass es wenigstens für unsere Zwecke genügt, die beiden andern Gesichtspunkte, Färbung und Wassergehalt in jener Hinsicht allein zu berücksichtigen.

Bei unserer bisherigen Betrachtung haben wir in erster Linie die Erwärmung des Bodens in Folge der Bestrahlung durch die Sonne im Auge gehabt. Der entgegengesetzte Process dieser Erwärmung, der für das Gesammtresultat von der gleichen Wichtigkeit erscheint, ist die *Abkühlung* desselben von Oben her durch *Ausstrahlung in den Weltenraum.* Auch hier werden wir wieder die spezifische Befähigung der einzelnen den Boden constituirenden Elemente und so der einzelnen Bodenarten, nach Aussen hin Wärme durch Strahlung abzugeben, einer Untersuchung zu unterwerfen haben. — Wir können bei dieser Betrachtung von einem physikalischen Gesetze Nutzen ziehen, das eine sehr einfache Beziehung zwischen Absorptionsvermögen und Ausstrahlungsvermögen der Wärme ausspricht. Dieses Gesetz sagt aus, dass das Absorptionsvermögen irgend eines Körpers, worunter man das Verhältniss der von ihm absorbirten Strahlen (nach ihrer Intensität gemessen) zu den auf ihn fallenden Strahlen versteht, in einer constanten Beziehung zum Ausstrahlungsvermögen (Emissionsvermögen) eines solchen Körpers steht, so dass zwei Körper von gleichem Absorptionsvermögen auch ein gleiches Ausstrahlungsvermögen besitzen, *vorausgesetzt, dass die Strahlen, um die es sich in beiden zu vergleichenden Fällen handelt, von gleicher Temperatur sind.*

Dieses physikalische Gesetz, dessen exakter Ausdruck uns nicht weiter interessirt, würde uns geradezu zu dem Schlusse berechtigen, dass dieselben Bodenarten, welche sich bei Bestrahlung durch die Sonne am Raschesten erwärmen, bei der Umkehrung des Strahlenverhältnisses, wo dem erwärmten Boden ein kalter Weltenraum gegenüber liegt, auch am Raschesten Abkühlung erleiden, also die Böden von der wechselndsten Temperatur sein würden, wenn es sich in beiden Fällen um Strahlen von gleicher Brechbarkeit handelte. Dem ist nun aber nicht so; — was der Boden empfängt, sind grossentheils leuchtende, sogar ultraviolette Strahlen und nur zum Theil sogenannte Wärmestrahlen; — was er im Fall der Ausstrahlung abgibt, sind nur Wärmestrahlen von ganz niedriger Temperatur und geringer Brechbarkeit. Für solche Verhältnisse ist die Anwendung jenes Gesetzes nicht mehr ohne Weiteres zulässig. Während z. B. der Kienruss Strahlen aller möglichen Temperaturen sehr vollkommen absorbirt und desshalb auch Strahlen aller möglichen Temperaturen sehr vollständig emittirt, wie an dem verhältnissmässig raschen Erkalten eines mit heissem Wasser gefüllten und berussten Theekessels dem eines metallisch blanken gegenüber deutlich ersehen werden kann, verhält sich das Bleiweiss den leuchtenden Strahlen gegenüber, wie seine Farbe lehrt, ziemlich passiv, absorbirt aber Strahlen von 100° mit grosser Begierde und ebenso rasch wie der Russ, und daraus folgt dann das eigenthümliche Verhalten jenes Stoffes bei der Ausstrahlung.

Denken wir uns nun z. B. eine Ackererde, gebildet aus einem Stoffe, der die Eigenschaften des Bleiweiss in Bezug auf Wärmestrahlung besässe. *) Eine solche würde die Strahlen der Sonne, die grossentheils von hoher Temperatur sind, sehr wenig vollständig absorbiren, bei Nacht aber eine möglichst hohe Wärmestrahlung unterhalten, weil es sich jetzt nur noch um Strahlen von sehr niedriger Temperatur, um dunkle Wärmestrahlen handelt. Aus diesem herausgegriffenen Beispiel ist klar ersichtlich, dass es für die uns vorliegenden Verhältnisse nicht erlaubt ist, von jenem Gesetze ohne Weiteres Gebrauch zu machen.

Eigentliche Versuche über die Grösse der Wärmeausstrahlung gleichwarmer aber substanziell verschiedener Erdarten liegen keine vor, **) wohl aber hat man die Erkaltungsgeschwindigkeit solcher in Gefässen von Eisenblech vergleichungsweise gemessen, — ein Vorgang, für den nicht das Strahlungsvermögen, sondern die Wärmeleitung der substanziell verschiedenen Erden, ferner deren spezifische Wärme und, da sich die Messungen auf gleiche Volumina beziehen, auch noch das spezifische Gewicht derselben in Betracht kommt, der also sehr complicirter Natur ist und, wie gesagt, keinen Schluss auf das relative Strahlungsvermögen gestattet.

Schübler war es auch hier wieder, der dergleichen Versuche angestellt hat und aus den Zeiten, welche die Erden bedurften, um, vorher auf 50° R. erwärmt, auf 17° R. (bei einer Zimmertemperatur von 13°) zu erkalten, die (diesen Zeiten proportionalen) Zahlen berechnete, welche er als „wärmehaltende Kraft“ der einzelnen Erdarten bezeichnete.

Auf diese Weise von Schübler ermittelte Zahlen ***) sind z. B. folgende:

Erdarten.	Wärmehaltende Kraft, die des Kalksandes = 100 gesetzt.
Kalksand	100,0
Quarzsand	95,6
Gypserde	73,8
Lettenartiger Thon	76,9
Lehmartiger Thon	71,8
Reiner grauer Thon	66,7
Kohlensaure Talkerde in feinem Zustande	38,0
Kohlensaure Kalkerde in feinem Zustande	61,3
Humus	49,0
Ackererde	70,1

Diese verschiedene wärmehaltende Kraft der verschiedenen Ackererden hat also ganz und gar Nichts mit deren Ausstrahlungsvermögen zu thun, da die Zahlen unter Anwendung einer und derselben strahlenden Oberfläche, der des Eisenbleches, in

*) Bodenarten von gerade umgekehrten Eigenschaften, die verhältnissmässig stark absorbiren, aber langsam ausstrahlen, scheinen nach einer Bemerkung von Senft (vergl. Landw. Jahresber. 1867—68. p. 43) zu existiren. Wenigstens spricht derselbe von mit Eisenoxydhydrat durchzogenem Sand, der sich in der Sonne rasch erwärmt, aber lange die Wärme halten soll, wenn wir es anders hier mit einer exakten Beobachtung zu thun haben.

**) Obgleich die Unternehmung derartiger Versuche mit dem Melloni'schen Apparate und der thermoelektrischen Säule eine leichte und dankenswerthe Aufgabe wäre.

***) Vergl. Schübler: Grundsätze der Agrik.-chemie. 1830. II. p. 86 und Sprengel: Bodenkunde etc. 1837. p. 301.

welches alle Bodenproben eingeschlossen waren, erhalten wurden, sondern wir bekommen nur auf diese Weise eine Vorstellung von dem Zusammenwirken aller übrigen vorhin genannten bei der Abkühlung mitwirkenden Faktoren und zugleich von Eigenthümlichkeiten, welche ebenso bei der Erwärmung, aber natürlich im umgekehrten Sinne in Betracht kommen. Sehr wichtig ist desshalb die auf die gegebenen Zahlen sich beziehende Bemerkung Schüblers, dass sich die wärmehaltende Kraft der einzelnen Bodenarten im Allgemeinen verhalten hätte, wie deren spezifischen Gewichte. *) Daraus würde sich mit grosser Bestimmtheit ergeben, dass die Wärmeleitungsfähigkeit und die spezifische Wärme der einzelnen Bodenarten, wie wir Dies auch schon früher angenommen haben, nicht sehr erheblich verschiedene sind und dass, wenn man allen Bodenarten künstlich ein gleiches Strahlungsvermögen verschafft, einzelne nur desshalb schneller erkalten, weil sie auch bei Gleichheit der Temperatur und Gleichheit der spezifischen Wärme wegen ihrer geringeren Masse geringere Wärmemenge in sich enthalten. Würde man die spezifische Wärme statt, wie man gewohnt ist, auf gleiche Massen, auf gleiche Volumina beziehen, so würde sich bei den in Rede stehenden Versuchen eine ungefähre Proportionalität der wärmehaltenden Kraft und der so berechneten spezifischen Wärme ergeben. **) Daraus geht zugleich nach kurzer Ueberlegung hervor, dass wasserreiche Bodenarten, welche zugleich schwerer sind, als wasserarme und eine grössere spezifische Wärme als diese besitzen, eine grössere wärmehaltende Kraft als diese zeigen müssen.

Ueber das *Strahlungsvermögen* selbst der einzelnen Erdarten vermögen also diese Versuche keinen Aufschluss zu geben und wir müssen vorerst noch darüber im Dunkeln bleiben, wie es mit diesem steht. Wir können jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass auch in dieser Beziehung die dunkeln Substanzen den Vorsprung behalten werden, wenn auch nicht in demselben Grade, wie hinsichtlich des Absorptionsvermögen (und Emissionsvermögens) von Strahlen höherer Temperatur und Brechbarkeit.

Das bisher über das Verhalten des Bodens der Wärme gegenüber Gesagte noch einmal zusammenfassend, können wir also aussprechen, *dass dunkle, leichte und wasserarme Bodenarten sich in der Sonne am Raschesten erwärmen, beim Aufhören der Bestrahlung am Schnellsten erkalten,* dass jedoch der Erkaltungsprocess (wegen der weniger stark hervorragenden Fähigkeit dunkler Substanzen, Wärmestrahlen niedriger Temperatur zu absorbiren und zu emittiren) weniger rasch fortschreitet als der Erwärmungsprocess, so dass *die so beschaffenen Böden doch im Durchschnitt die höchsten Temperaturen einnehmen.* Umgekehrt können wir behaupten, *dass helle, spezifisch schwere und wasserreiche Bodenarten sich in der Sonne am Langsamsten erwärmen, in der Nacht am Langsamsten abkühlen.* Dieselben sind jedoch, soweit sich die Verhältnisse übersehen lassen, vor rascher Erwärmung durch die helle Farbe besser geschützt als vor nächtlicher Ausstrahlung, so dass schon aus diesem Grunde *die Durchschnittstemperatur derselben eine ge-*

*) Vergl. Schübler: ebenda p. 87 u. Sprengel: a. a. O. p. 302 in etwas anderer Ausdrucksweise.

**) Die „wärmehaltende Kraft" des Bodens ist mit anderen Worten Nichts Anderes als die specifische Wärme gleicher Bodenvolumina.

ringere ist als jener andersartigen Bodenarten. Dazu kommt, dass für die feuchten Bodenarten noch ein absoluter Wärmeverlust in Folge der Wasserverdunstung *) in Betracht kommt, *welcher ihre mittlere Temperatur noch weiter herunterdrückt.* **)

Auf wie tiefe Schichten sich der Temperaturwechsel unter sich verändernden äussern Verhältnissen erstreckt, ist dann ausser von der Grösse dieses Wechsels noch von der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens abhängig, wobei die Möglichkeit der Circulation von Wasser in Betracht kommt.

Böden von hoher Durchschnittstemperatur, aber von möglichst geringen Schwankungen, ***) welche also für den Pflanzenbau hinsichtlich der Wärmeverhältnisse am Geeignetsten erscheinen, sind *trockene, dunkle von hohem spezifischen Gewicht,* wie Basalt-, Melaphyr-, Dolerit-, Thonschiefer-Böden, so wie auch Sandböden; und diese Eigenschaften werden noch eine Steigerung erfahren, wenn sie am Südhang gelegen sind. Auch die praktische Erfahrung lehrt, dass solche Böden für die Weinkultur, bei der es in unsern Klimaten vorzüglich darauf ankommt, eine möglichst hohe Temperatur zu erreichen, am Meisten sich eignen.

Böden von niedriger Durchschnittstemperatur, aber von grossen Temperaturschwankungen würden solche sein, die mit einer hellen Farbe und grossem Wassergehalte ein kleines spezifisches Gewicht vereinigten. Derartige Böden sind zum Glücke selten. Am Ersten würden diese Eigenschaften gleichzeitig in leichten, hellen und feuchten Dolomit- und feinen Kalk-Böden gefunden werden können.

Bei unsern bisherigen Betrachtungen haben wir ausser Augen gelassen, dass der Boden nicht unter allen Umständen selbst die strahlende Oberfläche zu bilden braucht, und hierdurch werden noch einige Modificationen in dessen Verhalten gegen die Wärme bewirkt, die für den Pflanzenwuchs unter Umständen von Wichtigkeit sind und eine kurze Besprechung erheischen.

Ich habe dabei vor Allem die Wirksamkeit einer schützenden Schneedecke vor Augen. Diese letztere ist wegen ihrer äusserst porösen Beschaffenheit, die sie unsern Kleidungsstücken nicht unähnlich erscheinen lässt, ein sehr schlechter Wärmeleiter und verhindert daher eine äussere Abkühlung, sei es nun, dass eine solche durch Ausstrahlung gegen den klaren Himmel oder durch kalte Luftströmungen veranlasst wird, sich bis in die Erde fortzupflanzen. Auf diese Weise werden die im Boden befindlichen oder aus demselben etwas hervorragenden, aber gleichfalls vom Schnee bedeckten empfindlichen Pflanzentheile, z. B. die der Winterfrucht auch bei sehr grosser Kälte vor dem Erfrieren geschützt, das ohne eine solche Schneedecke unfehlbar eintreten würde. Daher kommt es, dass der Landwirth zu Beginn des Winters den Eintritt des Frostes fürchtet, wenn nicht vorher Schnee gefallen ist. †)

*) Böden, mit einem feuchten Untergrund, in den fortwährend Gelegenheit gegeben ist zur kapillaren Leitung und Verdunstung, sind wohl die kältesten von allen.

**) Das spezifische Gewicht der Bodenarten wirkt also nicht mit in Betreff der Durchschnittstemperatur, sondern von ihm ist nur die Grösse der Schwankung mit abhängig.

***) Solche Böden werden als „hitzige“ bezeichnet.

†) Bozet hat (Compt. rend. T. 40. p. 298) Beobachtungen über die Bodenwärme unter Schnee im Vergleich mit der eines von Schnee entblössten Terrains bei einer Lufttemperatur von mehreren Graden unter Null gemacht, woraus der im Text erläuterte Nutzen einer Schneedecke hervorgeht.

Man sieht aus dieser Darstellung, dass der Schutz, welchen eine Decke von Schnee für angebaute Felder gewährt, durchaus derselben Natur ist, wie das Einbinden in Stroh, Vergraben in Erde und überhaupt das Bedecken mit schlechten Wärmeleitern, von welchen gärtnerischen Massregeln wir schon einmal früher gesprochen haben. Es ist dabei immer wieder daran zu erinnern, dass wenn auch alle diese Schutzmittel nicht auf längere Dauer völlig vor niedrigen Temperaturen zu schützen vermögen, doch auf diese Weise alle raschen Uebergänge vermieden werden, und dass es bei der Erhaltung der Pflanzen bei niedriger Temperatur gerade auf Vermeidung dieser Uebergänge sehr wesentlich ankommt. *)

Es bedarf keines besondern Hinweises, dass auch eine reichliche Mistdüngung, die als Kopfdüngung obenauf gebracht wird, ganz Etwas Aehnliches wie eine Schneedecke, wenn auch nicht in demselben Grade, zu leisten vermag, doch ist natürlich eine solche Massregel zu dem in Rede stehenden Zwecke in vielen Fällen nicht rathsam, da die concentrirten Nährstofflösungen, welche die Pflanzen bei einer direkten Berührung mit dem Miste empfangen würden, schädlich auf sie wirken könnten, und eine ganze Reihe sekundärer Bedenken in Betracht kommen.

Ausser der Wärme, welche die Ackererde von der Sonne empfängt, aber in so ausserordentlich verschiedener Weise verwerthet, kommen nun aber noch die Eingangs dieser Vorlesung erwähnten beiden andern Wärmequellen in Betracht, *die Wärme, welche in Folge von chemischen Processen in der Ackererde entsteht*, und *die innere Erdwärme.*

Die erstere dieser beiden auf ihre Ergiebigkeit zu untersuchenden Quellen ist neuentstehende Wärme, welche bis dahin nicht als Wärme, sondern in Form von chemischer Spannkraft vorhanden gewesen ist. Unter den Substanzen, die wir in der Ackererde antreffen, besitzen nur *organische Stoffe* solche Spannkräfte in erheblichem Massstab, mag nun der Boden unter rein natürlichen Verhältnissen sich befinden, oder mag derselbe eine Düngung empfangen haben, und folglich werden wir nur organische Stoffe als möglicher Weise wärmeerzeugend in's Auge zu fassen haben. **) Dieselben werden eine Wärmeerzeugung auf zweierlei Weise bewirken können, einmal durch wirkliche Verbindung mit Sauerstoff, durch eigentliche Verbrennung. Der fortdauernde Sauerstoffverbrauch, den man durch Untersuchung der in den Poren der Ackererde enthaltenen Luft leicht beweisen kann, in einem guten, organische Reste enthaltenden Boden zeigt, dass eine solche Verbrennung thatsächlich stattfindet, und diese Verbrennung muss selbstredend mit Wärmeerzeugung verbunden sein. Zweitens wird eine solche Wärmeerzeugung stattfinden können durch Umlagerung der organischen Substanzen, ohne Zutritt eines von Aussen stammenden Elements, wenn dadurch die vorhandenen Affinitäten in höherem Grade gesättigt werden, nach Analogie einer Gährungserscheinung ohne Sauerstoffzutritt. Derartige Erscheinungen treten z. B. in einem Misthaufen ein, der sich in seinem Innern durch einen hierhingehörigen Vorgang stark erwärmt, scheinen aber mehr den sogenannten hochorganisirten Stoffen, welche sich noch in der chemischen Form befinden, in der sie in den Organismen enthalten sind, eigenthümlich zu sein und

*) Ich verweise hier auf das in der zweiundzwanzigsten Vorl. Mitgetheilte; vgl. p. 373.

**) Von der Wärmeerzeugung durch Wassercondensation soll in einer Anmerkung der nächsten Vorlesung andeutungsweise die Rede sein.

den schon zersetzten, halbverwesten Substanzen, wie den Humusstoffen nicht mehr zuzukommen. Wärmeentwickelung ohne eigentliche sichtbare Oxydation, wenn auch mit reichlicher Kohlensäurebildung wird daher auf dem Ackerlande nur im frischgedüngten Zustande eintreten können. Es ist dieser Hinweis nicht ganz bedeutungslos, da gerade dieser Process rascher um sich zu greifen, wahrscheinlich durch seine eigene Wärmeentwickelung erheblicher gesteigert zu werden pflegt, als die Oxydationserscheinung und so mehr Wärme auf einen Schlag zu entwickeln, eine grössere Temperaturerhöhung als diese zu bewirken vermag.

Für beiderlei Vorgänge indessen, welche die im Boden enthaltene organische Substanz der Zerstörung entgegenführen, gilt der Satz, dass sie durch die Erhöhung der Temperatur selbst gesteigert werden, d. h. also, je höher schon die Temperatur ist, eine umso grössere Temperaturerhöhung sind sie zu bewirken bestrebt. Wir haben es also in der Wärmeerzeugung durch chemische Processe in der Ackererde nicht mit einem regulatorischen Vorgange zu thun, der Temperaturextreme mässigt und namentlich bei niedriger Temperatur, wo am Meisten Wärmebedarf vorhanden ist, in Thätigkeit tritt, wie Dies z. B. mit dem Verbrennungsprocess im Körper des höheren Thieres der Fall ist, sondern mit einem, der erst bei höheren Temperaturen ausgelöst wird und so *die Temperaturextreme verschärft.* Schon hieraus geht hervor, dass die Bedeutung dieser Wärmeproduktion durch die Umsetzung und Verbrennung von organischer Substanz nicht allzu erheblich sein kann.

Dazu kommt weiter die *äusserst geringe Wärmequote,* welche bei der grossen Vertheilung der organischen Substanz durch die Ackererde und deren langsam verlaufenden Zersetzung auch nach einer frischen Stallmistdüngung auf die Zeiteinheit fällt. Unsere Vorstellung von der erwärmenden Wirkung verwesender Stoffe ist meistens der Wahrnehmung einer sehr gesteigerten Temperatur in einem Misthaufen oder einem Mistbeete entnommen, wo der Verwesungsprocess durch Zusammenhäufung und die dadurch ermöglichte gegenseitige Temperatursteigerung ausserordentlich begünstigt wird. Es ist freilich ganz richtig, genau dieselbe Wärmemenge, die wir so bemerken, muss auch nach Vertheilung eines solchen Misthaufens über eine grosse Oberfläche nach und nach zum Vorschein kommen, aber es ist sehr fraglich, ob bei dem nun langsam verlaufenden Process, bei den nun ungünstigen Strahlungsverhältnissen von einer erheblichen *Temperaturerhöhung* die Rede sein kann. Man weiss ebenso mit voller Bestimmtheit, dass ein Baumstamm die gleiche Summe von Gesammtwärme entwickelt, ob ich ihn im Ofen verbrenne, ober ob ich ihn langsam im Walde vermodern lasse, und doch ist im letzteren Falle eine Wärmeentwickelung kaum bemerkbar, einfach weil sie sich auf eine viel grössere Zeit vertheilt. Ganz ähnlich sind die Verhältnisse für die Verwesungserscheinungen in der Ackererde, nur dass hier noch mehr der vergrösserte Raum als die verlängerte Zeit auf Verkleinerung der Wärmequote wirkt. Man berechne einmal die Verbrennungswärme einer Durchschnittsdüngung und der durchschnittlich verbleibenden Wurzelrückstände und vertheile die erhaltene Wärmesumme auf ein ganzes Jahr und auf ein ganzes Feld, und ich glaube, dass nicht viel für die Zeiteinheit übrig bleiben wird,*) auch wenn

*) Für diese Auffassung sprechen auch vollständig die Temperaturbestimmungen von Peters in Erden, denen vergleichungsweise verwesende Stoffe zugesetzt waren und nicht; vergl. Jahresber. f. Agrik. chemie 1862—63. p. 6.

man günstige Wärmestrahlungsverhältnisse annimmt und ganz unberücksichtigt lässt, dass die Wärmeentwickelung just zu der Zeit eintreten wird, wo der Boden schon an sich warm ist.

Wenn trotz diesem Resultate, das mir ziemlich festzustehen scheint, dennoch von der erwärmenden Wirkung einer Stallmistdüngung gesprochen wird, so darf diese eben nicht auf Kosten der chemischen Zersetzung des Stallmists, denn auch für kürzere Verwesungszeiten würden jene Berechnungen noch ziemlich ungünstig ausfallen, sondern hauptsächlich auf die Aenderungen, die eine solche Düngung für die physikalischen Eigenschaften der Ackererde bewirkt, gesetzt werden. Es kommt hier der vorhinerwähnte Schutz vor nächtlicher Wärmestrahlung, den eine obenaufgebrachte Stallmistdüngung zu geben vermag, hauptsächlich aber die dunkle Farbe in Betracht, welche die verwesenden Bestandtheile des Mists nach kurzer Zeit annehmen, — Eigenschaften, die also in mehrfacher Weise für erhöhte Bodentemperatur sorgen.

Die *innere Erdwärme* können wir endlich mit einigen Worten abthun. Dass eine solche Wärmequelle besteht, ist nicht zu bezweifeln und braucht nicht erst aus der plutonischen Hypothese hergeleitet zu werden, sondern geht einfach aus der bekannten Erfahrung hervor, dass beim Hinabsteigen in die Tiefe der Erdkruste unter allen Umständen eine, wenn auch unregelmässige, Temperatursteigerung beobachtet werden kann, sobald man einmal den Punkt, bis zu dem die Schwankungen der Sonnenwärme zu dringen pflegen, überschritten hat. Allein es kann ebenso wenig ein Zweifel darüber bestehen, dass bei den ungünstigen Wärmeleitungsverhältnissen der Erdkruste Nichts Erhebliches von dieser innern Erdwärme dem Pflanzenwuchs zu Gute kommt. Zudem ist diese geringfügige Wärmequelle für alle Böden nahezu *) gleich ergiebig.

Es ist hier nur eines jener Ausnahmsfälle Erwähnung zu thun, wo die gesteigerte Wärmeproduktion in Folge eines lokalen geologischen Phänomens dem Pflanzenwuchs zu Gute kommt. Man erzählt z. B. von dem „brennenden Berge“ in Duttweiler (unter dem ein Steinkohlenflötz seit Jahren in Brand steht, und der in Folge dessen eine gesteigerte Temperatur besitzt), dass auf demselben mit Vortheil Kunstgärtnereien betrieben werden, und Aehnliches wird zweifelsohne von manchen vulkanischen Gegenden zu berichten sein. Allein Dies ist eben ein Ausnahmsfall, der das oben Ausgesprochene nur zu bestätigen vermag.

Einunddreissigste Vorlesung.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Bodenfeuchtigkeit.

Wir haben in der letzten Vorlesung hervorgehoben, dass unter denjenigen physikalischen Eigenschaften der Ackererde, welche für den Pflanzenbau von hervorragender Wichtigkeit sind, neben dem Verhalten gegen die Wärme ganz besonders

*) Blos nahezu, weil die Wärmeleitungsverhältnisse der äusseren Erdkruste verschiedene sind und die „Wärmestufen“ an verschiedenen Orten ungleichmässig verlaufen.

das Verhalten derselben *gegen das Wasser* eine Beachtung verdient. Bei der Behandlung dieses Gegenstandes, dem die heutige Vorlesung gewidmet sein soll, werden wir manche Parallelstellen zu dem eben dargestellten Verhalten zu verzeichnen haben, wodurch uns die Raschheit des Ueberblicks über diese neuen Verhältnisse wesentlich erleichtert werden wird.

Wie ein Boden durch seine spezifischen Eigenschaften im Stande ist, die Temperatur, welche den auf ihm wachsenden Pflanzen zu Gebote steht, sehr wesentlich abzuändern, und man desshalb von warmen und kalten Böden innerhalb eines und desselben klimatisch gleichen Länderstriches zu sprechen berechtigt ist, gerade so vermag er auch die Menge von Wasser, welche er den Pflanzen zur Verfügung stellt, selbstständig zu reguliren, und erwirbt sich durch diese specifischen Eigenthümlichkeiten den Beinamen eines *feuchten* oder *trockenen* Bodens, innerhalb von Länderstrichen, die genau die gleiche Regenmenge besitzen.

Auch in Bezug auf diese Eigenschaften des Bodens haben wir, wie angedeutet, mehrere ganz verschiedene Faktoren zu unterscheiden, aus denen sich das Gesammtverhalten gegen Wasser zusammensetzt. Wir können als solche nennen: Die *Anziehungskraft für Wasser*, die *wasserhaltende Kraft*, die *kapillare Wasserleitung* und die *Durchlässigkeit des Bodens für Wasser.*

Die *Anziehungskraft des Bodens für Wasser*, welche identisch ist mit dessen Condensationsvermögen oder seiner hygroskopischen Beschaffenheit, von Schübler auch als *wasseranhaltende**) Kraft bezeichnet wurde und diese verschiedene Benennung erhalten hat, je nachdem diese Kraft bei der Wasserabgabe oder bei der Wasseraufnahme gemessen wurde, ist unter allen Umständen eine *nützliche Bodeneigenschaft,* da sie nur in Thätigkeit tritt, wenn wirklicher Wassermangel im Boden vorhanden ist, also regulirend wirkt. Die Richtigkeit dieses Satzes wird sich aus dem Nachfolgenden ergeben.

Eine grosse Reihe fester Körper haben in sehr verschiedenem Grade die Fähigkeit, gasförmiges Wasser auf ihrer Oberfläche als tropfbare Flüssigkeit niederzuschlagen und mit einer gewissen Widerstandskraft vor der wieder eintretenden Verdunstung zu beschützen. Es ist hier nicht unsere Aufgabe, die Wirkungsweise dieser Kraft zu untersuchen; es genügt zu bemerken, dass die hygroskopische Wasseranziehung, welche für die Ackererde in Betracht kommt, eine Oberflächenwirkung ist. und desshalb erst in sehr porösen Körpern erhebliche Werthe annehmen kann. Das auf diese Weise in porösen festen Körpern verdichtete Wasser verhält sich genau

*) Heiden hat (vergl. dessen Düngerlehre I. p. 438) aus Schübler's wasseranhaltenden Kraft eine „wasserhaltende" Kraft gemacht und damit eine grosse Verwirrung veranlasst, welche auch die Ursache seiner falschen Schlussfolgerungen ist, von denen gleich die Rede sein wird. Unter wasserhaltender Kraft versteht man nemlich Dasselbe wie unter wasserfassender Kraft, Wasserkapacität (vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs II. p. 25). Die Verwechslung ist genau die nemliche wie etwa zwischen Absorptionsvermögen für Wärme und spezifischer Wärme und erstreckt sich bei Heiden nicht blos auf die Bezeichnung, sondern auch auf die Sache. Dieselbe Verwechslung auch bei Mulder: Chemie der Ackerkrume. B. III. p. 372, wenigstens in der deutschen Uebersetzung; daselbst überhaupt eine grauenerregende Terminologie. — Eine noch weitergehende Confusion zwischen hygroskopischer Beschaffenheit und wasserhaltender Kraft bei Gasparin: Cours d'agriculture 1843. T. I. p. 164.

wie sonst kapillar festgehaltenes Wasser und kann z. B., wenn eine Ackererde auf diese Weise Wasser in sich verdichtet hat, geradeso von einer Pflanzenwurzel aufgenommen werden, wie das durch den Regen oder durch Begiessen in die kleinen Zwischenräume des Bodens gelangte.

Der Beweis dieses Verhaltens kann auf experimentellem Wege durch einen sehr einfachen Versuch beigebracht werden. J. Sachs*) hat gezeigt, dass man in Blumentöpfen wachsende Pflanzen durch lange Perioden hindurch ohne Begiessen völlig turgescent erhalten kann, wenn man eine hygroskopische Bodenart wählt und diese durch eine leicht zu bewerkstelligende selbstverständliche Vorrichtung in eine nahezu dampfgesättigte Atmosphäre bringt, die oberirdischen Pflanzentheile aber ausserhalb derselben lässt. Trotz der unter diesen Umständen ganz erheblichen Transpirationsgrösse kann doch das so verbrauchte Wasser durch Condensation von Wasserdampf durch den Boden gedeckt werden, wenn auch vielleicht die Ausbildung so gewachsener Pflanzen und deren weitere Entwickelung eine unvollkommene **) ist. Dies Letztere tritt vermuthlich nur bei unseren heimischen, sehr Wasser- und Transpirations-bedürftigen Pflanzen ein, während vielleicht bei den Gewächsen regenloser Gegenden eine derartige Wasseraufnahme völlig für alle Ansprüche derselben genügen kann. ***)

Berechnungen zeigen ausserdem auf's Unzweideutigste, dass die Regenmenge, welche z. B. in unsern Klimaten auf eine Ackerfläche niederfällt, obgleich sie weitaus nicht völlig von den auf dieser wachsenden Pflanzen ausgenutzt werden kann, ein geringeres Wasserquantum †) repräsentirt, als auf derselben Ackerfläche von diesen Pflanzen verdunstet wird, d. h. also, dass der Boden unserer Felder ganz regelmässig jene Condensationsthätigkeit ausübt und zwar mit durchschnittlich grösserer Intensität ausübt, als Verdunstung von Wasser aus ihm stattfindet, denn sonst würde ja der Wasserverlust überwiegen. Heiden berechnet ††) für die mittleren Verhältnisse in Deutschland auf den preussischen Morgen eine jährliche Regenmenge von $2^1/_2$ Mill. Pfund Wasser (nach den Beobachtungen auf den preussischen meteorologischen Stationen); davon geht durch unterirdischen Abfluss ein Theil verloren, nach Parker auf drainirten Böden 33—57% durch die Drains. Nach den Angaben von Lawes und Schübler †††) verdunsten verschiedene Kulturgewächse während ihrer Vegetationsperiode auf demselben preussischen Morgen $4^1/_4$—9 Millionen Pfund Wasser, so dass selbst, wenn man diese Zahlen für einiger Massen unsichere hält, noch ein bedeutendes Deficit bleibt, welches sich noch vergrössert, wenn man bedenkt, dass das Regenwasser der winterlichen Periode für die Transpiration fast ganz und gar verloren ist.

Aus jenem Versuchsresultate und diesen Berechnungen zusammen aber folgt, dass die wasseranziehende Kraft §) des Bodens auch für unsere wasserreicheren Kli-

*) Vergl. dessen Handb. d. Exper. Phys. d. Pfl. p. 174.

**) Siehe ebenda.

***) Siehe indessen hierüber weiter unten.

†) wobei freilich der Thau ausser Rechnung bleibt.

††) Dessen Düngerlehre I. p. 183—185.

†††) Siehe ebenda p. 185; vergl. auch Schleiden: Für Baum und Wald. 1870. p. 46.

§) Die Temperaturerhöhung, die bei jedem Condensationsvorgang in der Ackererde nothwendig eintritt, kommt praktisch als Wärmequelle wohl nicht sehr in Betracht;

mate nothwendig als ein Faktor der Wasserzufuhr für die Pflanzen mitwirkt, dass mit anderen Worten jene Eigenschaft ein Element der Fruchtbarkeit einer Ackererde ist.*)

Es handelt sich nun darum, eine Vorstellung davon zu gewinnen, unter welchen Umständen jene wasseranziehende Kraft zur Wirksamkeit gelangt; und in Hinsicht hierauf genügt es hervorzuheben, dass die hygroskopische Anziehungskraft nur auf sehr kleine Entfernungen wirkt, und dass daher in einem Medium, dessen hygroskopische Theile schon mit dicken Wasserhüllen umgeben sind, nicht mehr von der Geltendmachung dieser Kräfte die Rede sein kann. Daraus geht also hervor, dass nur trockene Medien, nur trockene Bodenarten, soweit diese überhaupt hygroskopische Kräfte besitzen, solche in erheblichem Grade geltend machen können. Nur ziemlich trockene Böden werden einerseits die Fähigkeit haben, einer feuchten Atmosphäre Wasser zu entziehen und in sich zu verdichten, und nur ziemlich trockene Böden werden auch umgekehrt die Fähigkeit haben, in einer trockenen Atmosphäre die noch übrigen dünnen Wasserhüllen in sich festhaltend vor der Verdunstung zu bewahren. Aus diesem Gesichtspunkte rechtfertigt sich dann der oben ausgesprochene Satz, dass die wasseranziehende Kraft nur *günstig* für die Vegetation wirken kann,**) da sie nur angespannt wird, wenn erheblicher Wassermangel bereits eingetreten ist. und keinerlei Verhältnisse gedacht werden können, wo in Folge jener ein Ueberschuss von Wasser, der aus bald zu erörternden Ursachen schädlich auf das Gedeihen der meisten Gewächse einwirken kann, im Boden angesammelt wird. ***)

wenigstens ist diesem Gegenstande (vielleicht aus den in der nächsten Anmerkung angedeuteten Gründen) noch keine Berücksichtigung zu Theil geworden.

*) Bei einiger Aufmerksamkeit kann Einem an dieser Stelle nicht entgehen, dass in dem im Texte geschilderten Verhalten eine Art von Perpetuum mobile zu liegen scheint, und Dies muss bei jedem Denkenden den ernsten Zweifel an der Richtigkeit der gegebenen Darstellung erwecken. Man lässt ruhig die trockene Erde Wasser aus der Luft condensiren, das verdichtete Wasser in die Wurzel übergehen, durch die Blätter verdunsten und wieder condensiren, ohne sich Rechenschaft zu geben von der Kraft, die dies continuirliche Uhrwerk aufzieht. — In der That wird man durch eine derartige Betrachtung zu dem Schlusse geführt, dass nothwendig eine Verschiedenheit der äusseren Lage der verdunstenden Blätter und der condensirenden Erde gegeben sein muss, um jenes Verhalten zu ermöglichen, und dass diese Verschiedenheit einzig und allein durch den Sonnenschein auf den Blättern, durch den Schatten unter den Blättern auf der Erde gegeben sein kann. Sachs hat auch, wie wir soeben gesehen haben, den geschilderten Process mit einer Topfpflanze nur wiederholen können, wenn er die die Erde umgebende Luft wasserreicher machte, als die, in welche die Blätter verdunsteten. — Oder sollten die Verdunstungsgrössen der Gewächse für natürliche Verhältnisse zu hoch berechnet sein und gar keine überwiegende Wassercondensation durch die Ackererde stattfinden? !

**) Es ist ein grosser Irrthum Heidens (vergl. dessen Düngerlehre I. p. 436), der sich aus der vorhin gerügten Verwechslung erklärt, wenn er glaubt, dass ein Boden von mittlerer „wasserhaltender" Kraft, unter welcher er den Widerstand versteht, den ein Boden dem Austrocknen entgegensetzt, für das Pflanzenwachsthum am Geeignetsten sei. Dies gilt nur für die wasserhaltende Kraft im Sinne der Wasserkapacität oder wasserfassenden Kraft.

***) Die Nützlichkeit des Condensationsvermögens eines Bodens für Wasser ist schon von Davy in seiner ganzen Tragweite erkannt worden, und dieser Forscher hegte sogar die Meinung, dass man in der genannten Eigenschaft einen guten Massstab für die Fruchtbarkeit der Bodenarten überhaupt besitze (vgl. Mulder: Chemie der Ackerkrume III. p. 366).

Nun tritt aber die Frage an uns heran, welche Bestandtheile einer gewöhnlichen Ackererde wasseranziehende Kräfte besitzen? — Die Beantwortung dieser Frage wird uns ein Urtheil verschaffen über die Fähigkeit der einzelnen Bodenarten, Wasser in ihren Poren zu verdichten und einer Verdunstung desselben Widerstand entgegenzusetzen.

Die Fähigkeit verschiedener Bodenbestandtheile und einzelner Erdarten, Wasser zu condensiren, ist auch wieder zuerst von Schübler*) bestimmt worden nach einer Methode, über die weiter Nichts gesagt zu werden braucht, da sie in Nichts Anderem bestand, als dass man gleiche Gewichtstheile getrockneter Erde einer mit Wasserdampf nahezu gesättigten Atmosphäre aussetzte und die Gewichtszunahmen derselben constatirte. Die von ihm gefundenen Zahlen sind, bezogen auf 1000 Gewichtstheile Erde, folgende:

Erdarten	nach 12	24	48	72	Stunden.
Quarzsand	0	0	0	0	Gewichtstheile.
Kalksand	2	3	3	3	„
Gyps in Erdgestalt	1	1	1	1	„
Kohlens. Kalkerde (Pulverform)	26	31	35	35	„
Lettenartiger Thon	21	26	28	28	„
Lehmartiger Thon	25	30	34	35	„
Reiner grauer Thon	37	42	48	49	„
Humus	80	97	110	120	„
Ackererde	16	22	23	23	„
Gartenerde	35	45	50	52	„

Man sieht aus diesen Zahlen,**) wie die hygroskopische Beschaffenheit der einzelnen Bodenbestandtheile eine ausserordentlich verschiedene ist. Dem Quarz kommt überhaupt keine erhebliche Fähigkeit zu, Wasser auf seiner Oberfläche zu verdichten. Im höchsten Grade kommt diese Fähigkeit den Humussubstanzen zu, und daher erklärt sich dann auch die grosse wasseranziehende Kraft, die den humusreichen Erdarten wie der Gartenerde zukommt. Ferner ziehen die reinen Thone und thonartigen Erden Wasser mit grosser Gewalt an sich. — Zugleich lehren aber die Schübler'schen Zahlen, dass es bei der in Rede stehenden Eigenschaft sehr wesentlich auf die feine Vertheilung, die Grösse der Oberfläche des wasseranziehenden Mediums ankommt. Man braucht nur die ausserordentlich verschiedenen Zahlen für Kalkerde und Kalksand zu betrachten, um inne zu werden, dass es beinahe ebenso sehr auf die feine Vertheilung, wie auf die spezifischen Anziehungskräfte der einzelnen Substanzen ankommt. Die grossen Wassermengen, die der Thon und thonige Erden in sich zu verdichten vermögen, sind grossentheils auch auf die ausserordentlich

---

*) Vergl. Schübler: Grundsätze der Agrik.-chemie 1830. II. p. 81 und Sprengel: Bodenkunde 1837. p. 295.

**) Ganz ähnliche nur viel weniger umfassende Resultate hat Trommer erzielt (vergl. Heiden: Düngerlehre I. p. 186); ferner reichhaltige Zahlenangaben für Böden, deren mechanische Analysen vorliegen bei Meister: vergl. Jahresbericht der Agrik.-chemie 1859—60, p. 43 u. 44.

feine Vertheilung, welche dem Thon seiner Entstehungsweise nach eigenthümlich ist, zu setzen. *)

Später hat Knop **) noch das Condensationsvermögen sehr verschiedener Substanzen bestimmt und namentlich dessen Abhängigkeit von der Temperatur festgestellt. Er hat es wahrscheinlich gemacht, dass dies Vermögen ungefähr proportional mit den Quadraten der Temperaturgrade wächst, wenn man diese vom Siedepunkt aus abwärts abliest, dass es also für jede Substanz eine Constante gibt, welche mit dem Quadrate der Temperatur (in der angegebenen Weise gemessen) multiplicirt, die bei dieser Temperatur verdichtete Wassermenge anzeigt.

1000 Gewichtstheile Ackererde von Möckern condensiren Wasser:

bei 20°	R.	9,4	Gewichtstheile
„ 18°	„	8,9	„
„ 15°	„	10,6	„
„ 10°	„	13,4	„

Dieselbe Ackererde, nachdem Kies und grober Sand abgesiebt war:

bei 23°	R.	14,5	Gewichtstheile
„ 20°	„	18,9 ***)	„
„ 19°	„	16,8	„
„ 16°	„	19,0	„
„ 16°	„	19,7	„
„ 15°	„	17,4	„
„ 14°	„	19,6	„
„ 14°	„	20,0	„

Durch Entfernung jener gröberen Bestandtheile wurde also ihr Absorptionsvermögen, wie vorauszusehen, sehr wesentlich gesteigert.

1000 Gewichtstheile Russische Schwarzerde, Tscherno Sem condensiren Wasser:

bei 23°	R.	62,6	Gewichtstheile
„ 20°	„	65,0	„
„ 19°	„	57,6	„
„ 16°	„	62,8	„
„ 16°	„	68,2	„
„ 15°	„	70,0	„
„ 14°	„	70,3	„
„ 14°	„	66,4	„

Diese Zahlen †) sind also völlig in Uebereinstimmung mit den von Schübler ermittelten, sie zeigen das geringe Condensationsvermögen einer sandhaltigen Acker-

*) Die auf gleiche Weise ermittelte sehr geringe wasseranziehende Kraft des Gypses hat dazu gedient, die früher übliche Hypothese von dessen Wirksamkeit in der Ackererde, nach welcher er Feuchtigkeit aus der Luft anziehen sollte, zu stürzen. Vgl. Sprengel: A. a. O. p. 295.

**) Vergl. Landw. Versuchsst. 1864. p. 281 u. Kreisl. d. Stoffs II. p. 15.

***) Diese Zahl ist bei Knop in Folge eines Rechenfehlers zu 15,0 angegeben.

†) Heiden hat in seinen Angaben (Düngerlehre I. p. 187) ganz ruhig die von Knop berechneten Quadratwurzeln der ermittelten (von der Temperatur unabhängigen) Condensationsconstanten als condensirte Wassermengen tabellarisch mitgetheilt und dabei nicht einmal gemerkt, dass diese Zahlen 200—500 mal zu klein sind und in dieser Form den von ihm zuvor

erde, das grosse eines humosen Bodens wie der russischen Schwarzerde; sie lehren uns ausserdem noch die experimentell neue, aber theoretisch vorauszusehende Thatsache, dass das Condensationsvermögen bei steigender Temperatur abnimmt. Es ist ja bekannt und nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie leicht einzusehen, dass jeder Condensationsvorgang, er mag veranlasst sein durch welche Kräfte er will, bei steigender Temperatur mehr und mehr erschwert wird. *)

Neben diese Versuchsresultate über das Condensationsvermögen der Ackererden und einzelner in ihnen enthaltenen Substanzen hätten wir die Resultate zu setzen über den entgegengesetzten Vorgang, bei dem sich aber die gleiche wasseranziehende Kraft der einzelnen Medien geltend macht.

Auch über diesen Gegenstand hat wieder Schübler Versuche angestellt und zwar, was für unsere Betrachtung von besonderer Wichtigkeit ist, mit denselben Substanzen, die er auch zu seinen Condensationsversuchen benutzte. Wir müssen uns jedoch vor Mittheilung dieser Zahlen darüber klar zu werden suchen, dass dieselben, obgleich bei beiden Erscheinungen im Wesentlichen eine und dieselbe Kraft in Betracht kommt, **) nicht nothwendig einfach aus jenen andern hervorzugehen brauchen. Schübler hat den Widerstand, welchen die verschiedenen bodenartigen Medien der Verdunstung entgegensetzen, so gemessen, dass er alle Erden vollkommen durchnässte, also in einem Grade mit Wasser sättigte, dass dieses auch bei den hygroskopischsten Bodenarten nicht sammt und sonders mit grosser Energie zurückgehalten werden konnte. Daraus folgt, dass *ein Theil* des Wassers aus allen Medien mit gleich geringem Widerstand verdunsten konnte, dass also die erhaltenen Zahlen einander ähnlicher werden mussten, als die bei den Condensationsversuchen erhaltenen. Ferner bekamen die auf ihre Verdunstungsgrösse untersuchten Erden

angeführten Schübler'- und Trommer'schen geradezu widersprechen; ebenso ist ihm ganz entgangen, dass diese Pseudo-Resultate im schreiendsten Widerspruche stehen zu dem Knop'schen Satze, dass das Condensationsvermögen mit der Temperaturzunahme abnimmt, der aber trotzdem friedlich daneben abgedruckt wird!!! — Ist der Auftrag dieser lehrreichen Zusammenstellung vom Verfasser an den Wenigstnehmenden überlassen worden?

*) Der weitere Schluss Knops, dass die Menge des condensirten Wassers von allen übrigen Dingen, also auch von der Feuchtigkeit der Atmosphäre unabhängig sei, ist durch die von ihm mitgetheilten Zahlen (bei der ziemlich grossen Ungenauigkeit derselben) keineswegs mit voller Sicherheit und jedenfalls nur innerhalb enger Grenzen erwiesen, wie denn eine volle Unabhängigkeit theoretisch unwahrscheinlich ist. Allein jedenfalls vermag der Grad dieser constatirten Unabhängigkeit zu zeigen, dass wir es im Condensationsvermögen mit sehr bedeutenden Kräften zu thun haben.

Auch sind die mitgetheilten Zahlen nur mangelhafte Belege für das aufgestellte Gesetz $Z = \frac{p}{T^2}$, denn die Constante Z schwankt für die Erden im Verhältniss wie 15 : 19, für Holzkohle sogar wie 10 : 14, — Abweichungen, die durch den Kunstgriff, die Wurzel aus diesen Constanten auszuziehen und so die Differenzen zu verkleinern, nicht getilgt werden können. Diese letztere „Zahlenoperation", die nach meiner Ansicht durch die Ausführungen auf p. 286 (Versuchsst. 1864) nicht gerechtfertigt wird, hat in der That auch keinen andern Vortheil gehabt, als den obenerwähnten Irrthum Heiden's zu veranlassen.

**) Dieser schon vorhin erwähnte und ganz auf der Hand liegende Zusammenhang zwischen Condensationsvermögen und wasseranhaltender Kraft ist vielfach verkannt worden; Mulder betont indessen denselben (vergl. dessen Chemie der Ackerkrume III. p. 365).

nicht alle die gleiche Wassermenge, sondern eine jede nach ihrer wasserfassenden Kraft, die eine mehr, die andere weniger, ein Umstand, der ebenfalls störend eingreifen musste. Endlich kommt, wie wir bald deutlicher sehen werden, für die Wasserverdunstung, die Fähigkeit eines Bodens, Wasser zur Verdunstungsfläche kapillar zu leiten, ganz ausserordentlich in Betracht, ein Umstand, der sich bei Verdunstungsversuchen, wenn man das verdunstende Material nicht ganz ausbreitet, sehr zu beachten ist.

Kurz wir haben es in den von Schübler über die Verdunstung mitgetheilten Zahlen mit den Resultaten einer etwas complicirteren Erscheinung zu thun, deren eines Element nur die wasseranziehende Kraft ist, gerade wie sich früher die an Böden gemessene Wärmeausstrahlung *) als ein complexer Vorgang erwiesen hat. Dennoch theilen wir jene mit, da sie beinahe die einzigen sind, welche wir über die fragliche Erscheinung besitzen, und da sie immerhin noch recht deutlich ihre gesetzmässigen Beziehungen zum Condensationsvermögen erkennen lassen.

Die von Schübler gefundenen Zahlen sind: **)

Erdarten	Von 100 Theilen absorbirten Wassers verdunsteten bei 15° R. in 4 Stunden.		Condensation
Humus	20.5	„	120
Kohlens. Kalkerde (Pulverform)	28,0	„	35
Reiner grauer Thon	31,9	„	49
Ackererde	32,0	„	23
Lehmartiger Thon	45,7	„	35
Lettenartiger Thon	52,0	„	28
Gyps in Erdgestalt	71,7	„	1
Kalksand	75,9	„	3
Quarzsand	88,4	Theile.	0

Zur Vergleichung habe ich noch einmal die von 1000 Theilen derselben Erden condensirten Wassermengen daneben gesetzt und die Vergleichung beider Zahlenreihen lehrt (trotz jener erwähnten Umstände, die dieses Verhältniss zu verwischen trachten) deutlich, dass dieselben in einem reciproken Verhältnisse stehen, d. h. dass die Erden das Wasser mit um so grösserer Energie zurückhalten, je grösser ihr Condensationsvermögen für Wasser ist, ein Verhalten, das sich theoretisch ganz von selbst versteht. ***)

Wir können nunmehr, auf den experimentellen Nachweis †) nach zwei verschiedenen Methoden uns stützend, in Bezug auf die wasseranziehende Kraft der verschiedenen Bodenarten aussprechen, dass dieselbe um so grösser ist, je mehr thonige und

*) Welche Zahlen beinahe völlige Analoga von diesen sind; vergl. die vorige Vorlesung p. 124.

**) Vergl. Schübler: Grundsätze der Agrik.-chemie 1830, II. p. 77 und Sprengel: Bodenkunde 1837. p. 292.

***) Wenn man die Bodenarten, wie Dies oben geschehen ist, nach ihrer Fähigkeit, Wasser der Verdunstung zu entziehen, ordnet, und dann diese Anordnung mit jener andern vergleicht, in welche sie nach ihrem Condensationsvermögen zu stehen kommen, so erkennt man, dass kaum erhebliche Abweichungen stattfinden.

†) Vergl. auch die Zahlenangaben von Meister über wasseranhaltende Kraft (Jahresbericht der Agrik. Chem. 1859—60. p. 41), aus deren Vergleich mit dem Wassercondensationsvermögen

namentlich, je mehr humose Bestandtheile in einer Bodenart vorhanden sind, aber auch, je feiner dieselbe ist, je mehr eigentliche Feinerde sie enthält. Reiner Sand und Kies ohne feinere Erdtheilchen besitzen überhaupt keine wasseranziehende Kraft in irgend einem erheblichen Grade, *) und Bodenarten, die wesentlich aus diesen Materialien bestehen, werden in trockenen Perioden der Pflanze kein Wasser zuführen können und überhaupt sehr zur Austrocknung neigen. Dass in diesem Verhalten, welches wir auch in feuchten Gegenden als ein durchaus ungünstiges für den Pflanzenwuchs bezeichnen müssen, eine der Ursachen der Unfruchtbarkeit solcher Bodenarten liegt, kann wohl keinem Zweifel unterliegen **).

Neben der wasseranziehenden Kraft haben wir es unter den Eigenschaften des Bodens dem Wasser gegenüber mit der *wasserhaltenden Kraft*, *wasserfassenden Kraft* oder *Kapacität für Wasser* zu thun. Wie die wasseranziehende Kraft dem Absorptionsvermögen für Wärme entspricht, so entspricht die wasserhaltende Kraft der spezifischen Wärme, der Wärmekapacität.

---

sationsvermögen derselben Erdarten jedoch der ursächliche Zusammenhang beider Erscheinungen weniger deutlich hervorgeht; vergl. endlich Wilhelm, Jahresber. f. Agrik. chem. 1862—63. p. 21.

*) Wie es dann mit derartigen Kulturböden hinsichtlich der früher besprochenen Behauptung, dass nach Berechnungen die Pflanzen sehr viel mehr Wasser verdunsten, als ihnen durch die meteorischen Niederschläge zur Verfügung gestellt wird, steht, ist bis jetzt kaum zu ermessen und nur durch Versuche festzustellen, durch welche überhaupt erst das Kapitel von der Bedeutung des Condensationsvermögens der Ackererde für das Pflanzenwachsthum eine klare Gestalt gewinnen könnte.

**) Man könnte von den Sachs'schen Versuchen, durch welche bewiesen worden ist, dass die Pflanzen denjenigen Bodenarten, welche eine grosse Anziehungskraft für Wasser besitzen, das in diesen enthaltene Wasser nicht bis auf einen so kleinen Rest zu entziehen vermögen, als Bodenarten von geringer Anziehungskraft für Wasser (vergl. Handb. d. Exper. Phys d. Pfl. p. 173), ausgehend glauben, dass die wasseranziehende Kraft des Bodens für die in ihm wurzelnden Gewächse keinen weiteren Vortheil hätte, da sie wohl jenen selbst etwas feuchter erhielte, aber das condensirte oder vor Verdunstung geschützte Wasser desswegen doch nicht der Pflanzenwurzel zu Verfügung stellte, sondern gerade im Gegentheil durch ihre grössere Energie vor der Aufnahme durch die Wurzel beschützte. — Von diesem Standpunkte aus scheint die ganze wasseranziehende Kraft ohne alle Bedeutung für das Pflanzenwachsthum zu sein, denn was Sachs a. a. O. für die grössere Wassermenge, die den Pflanzen auf lehmigen und humosen Bodenarten zur Verfügung steht, aussagt, bezieht sich lediglich auf die (dem Sande gegenüber) grosse wasserfassende Kraft dieser Bodenarten.

Allein wir haben einige Ursache zu vermuthen, dass ein Humus- oder Lehm-Boden auch noch in dem Zustand, in welchem er jene Wasserreste enthält, die er vor dem Uebergang in den Pflanzenorganismus beschützt, eine bedeutendere Anziehungskraft für Wasser besitzt, als ein Sandboden im gleichen Zustande und so eher durch sein Condensationsvermögen Wasser zu verdichten und der Pflanze zu übermitteln vermag — eine Frage, die sich experimentell durch Wiederholung jenes angeführten Versuches von Sachs (p. 174 d. Handbuchs) mit verschiedenen Bodenarten entscheiden liesse. Würde sich dabei kein wesentlicher Unterschied ergeben, so würde freilich das ganze Kapitel von der wasseranziehenden Kraft des Bodens eine andere Gestaltung gewinnen.

Die Erwägung dieser Möglichkeit wird uns vor Einseitigkeiten schützen. Wilhelm ist geneigt, auf Grund seiner Versuche hin (vgl. Jahresb. f. Agrik.-chemie 1862—63, p. 18), sich der Ansicht von der Nutzlosigkeit des Condensationsvermögens des Bodens zuzuwenden.

Die wasserhaltende Kraft ist keine Kraft im engeren Sinne des Wortes. Kräfte kommen bei dieser Eigenschaft nur soweit ins Spiel, als sie das Bestehen einer Adhäsion zwischen Wasser und Bodentheilchen voraussetzt, d. h. nach den Lehren der Physik voraussetzt, dass die Anziehungskraft zwischen Bodentheilchen und den Molekulen des Wassers mehr als halb so gross sei, als zwischen diesen Molekulen unter sich *). Diese Voraussetzung scheint aber bei den Ackererden unter allen Umständen erfüllt zu sein, denn sie sind alle ohne Ausnahme benetzbar, wenn die kapillare Anziehungskraft auch verschiedene Werthe annehmen mag.

Daraus folgt nun aber, dass die wasserhaltende Kraft, worunter man die Wassermenge versteht, welche von der Volumeinheit eines Bodens festgehalten werden kann (vor dem Abtropfen geschützt wird), nur abhängig ist von der Summe der kapillaren Hohlräume in der Volumeinheit einer solchen Erde. **) Eine jede Erde, die keine gröberen Gesteinsfragmente mehr enthält, sondern allein aus Feinerde besteht, besitzt nur solche kapillare Hohlräume und sogar die Zwischenräume zwischen einem gröberen Sand sind noch fast durchweg als solche zu betrachten. Die wasserhaltende Kraft ist mithin lediglich abhängig — wenn wir von dem Vorhandensein jener gröberen Trümmermassen absehen, also eine gesiebte Erde betrachten — von der mechanischen Struktur und ist identisch mit dem Unterschied zwischen dem spezifischen Gewicht der Erde als solcher und dem der einzelnen Erdtheilchen, weil durch diesen Unterschied die Summe der Hohlräumchen (allerdings gemessen durch das Gewicht der Erdtheilchen) ausgedrückt wird. Um absolute Zahlen zu erhalten, würde man jene Differenz noch durch das spezifische Gewicht der Erdtheilchen dividiren müssen. ***) Wäre die Erde eine unporöse Masse, so würde jener Unterschied gleich Null sein und von keiner wasserhaltenden Kraft die Rede sein können; aber je grösser jener Unterschied wird, um so zahlreicher werden jene kleinen Hohlräume und um so grösser die Wassermenge, welche in denselben festgehalten werden kann.

Wir wissen nun aber — und haben Dies auch in der vorigen Vorlesung hervorgehoben, dass der Unterschied jener beiden specifischen Gewichte und die Summe der kleinen Hohlräume um so grösser wird, je feiner man einen Körper zertheilt †),

*) Vergl. Anm. ***) auf p. 143.

**) Es ist theoretisch ganz richtig, hier den Einwand zu machen, dass ein Kapillarraum Nichts Absolutes sei, sondern in seiner Grösse ja durch die Kapillarkräfte bestimmt werde, dass also doch auch bei völliger Benetzbarkeit diese specifischen Kapillarkräfte für die wasserhaltende Kraft in Betracht kämen. — Allein hier ist daran zu erinnern, dass die Kapillarräume der eigentlichen Feinerde zu klein sind, dass sie nicht auch für schwächere Kräfte als solche zu betrachten wären, und dass die grösseren Hohlräume zwischen Kiesstücken und dergl. auch für die intensiveren Kräfte keine Kapillarräume mehr sind, während es in den natürlichen Ackererden an Hohlräumen mittleren Lumens mehr zu fehlen scheint, für die gerade sich der Unterschied in den Adhäsionskräften geltend machen würde.

***) Die wasserhaltende Kraft wäre in einer solchen Erde nach der gewöhnlich üblichen Ausdrucksweise gleich dem specifischen Gewicht minus dem absoluten Gewicht, die Differenz beider dividirt durch die erstere Grösse.

†) Vorausgesetzt, dass diese Zertheilung in jeder möglichen Richtung geschieht und ganz zufällige und unregelmässige Zerspaltungsflächen dabei resultiren. Die Zertrümmerung in ganz regelmässige und aneinander anschliessende Polyader würde natürlich betreffs des specifischen Volums keine Folgen haben.

dass also die wasserhaltende Kraft wesentlich von dessen Zertheilung bedingt ist. *)

Auch in Bezug auf diesen Gegenstand hat Schübler vergleichende Untersuchungen angestellt und folgende Zahlen mitgetheilt:

Erdarten.	Ein Kubikfuss der nassen Erde enthielt Wasser **)
Quarzsand	27,3 Pfund
Kalksand	31,8 "
Gyps in Erdgestalt	27,4 "
Kohlensaure Kalkerde (Pulverform)	47,5 "
Lettenartiger Thon	38,8 "
Lehmartiger Thon	41,4 "
Reiner grauer Thon	48,3 "
Humus	50,1 "
Ackererde	40,8 " ***)

Es ist leider nicht möglich, neben diese Zahlen die Unterschiede zwischen scheinbarem und wirklichem spezifischem Gewicht zu setzen, da Schübler's Angaben in dieser Beziehung keine Berechnungen erlauben. Man müsste aber natürlich auf diesem Wege zu denselben Zahlen gelangen. †)

Die mitgetheilten Angaben lassen indessen deutlich erkennen, wie die wasserhaltende Kraft mit der Feinheit der Vertheilung, von der die Summe der kapillaren Hohlräume abhängig ist, wächst. Die Humussäuren, der reine Thon und der ganz feine kohlensaure Kalk konnten dieser Vertheilung entsprechend am meisten Wasser und nahezu gleiche Mengen in sich festhalten, woraus ausserdem mit grosser Deutlichkeit hervorgeht, dass die specifische Wasseranziehung bei der wasserhaltenden Kraft gar keine Rolle spielt, da der kohlensaure Kalk im Vergleich mit den Humussäuren nur sehr geringe Wassermengen durch specifische Anziehungskräfte in sich zu condensiren vermag. Dem entsprechend haben die Sande, gleichviel aus welcher Substanz sie bestanden, eine relativ geringe, aber unter sich ziemlich gleiche Menge Wasser zurückzuhalten vermocht.

---

*) Indessen müssen auch einige Bestandtheile der Ackererde, welche die Fähigkeit haben, eine gallertartige Beschaffenheit anzunehmen, und in diesem Zustande eine grosse Menge Wasser zurückzuhalten vermögen, auf die wasserhaltende Kraft einigen Einfluss üben. Als solche Substanzen können mehrere Humuskörper und unter den mineralischen Bestandtheilen der Ackererde wahrscheinlich die zeolithartigen Substanzen angesehen werden, und wird die hohe wasserhaltende Kraft der Humus- und Thonböden zu einem kleinen Theile auch auf den Gehalt an solchen Substanzen gesetzt werden können.

**) Vgl. Schübler: a. a. O. II. p. 65. In den Schübler'schen Versuchen wurde getrocknete Erde verwendet. Schulze hat später (vergl. Journ. f. Landwirthsch. 1862. p. 367) lufttrockene Erde zu dieser Bestimmung genommen, wie überhaupt das Verfahren abgeändert. Vergl. ferner die Angaben von Meister: Jahresber. d. Agrik. chemie 1859—60. p. 40.

***) Diese Zahlen auf Gewichtseinheiten zu beziehen, wie dies Zenger und Mulder (vergl. des Letzteren: Chemie der Ackerkrume 367—368) thun, giebt ein ganz verschobenes Bild von der Sache.

†) Freilich wegen der Volumänderungen in Folge der Benetzung nicht ganz zu den gleichen. Vergl. Schübler: a. a. O. II. p 64.

Es ist weiter hervorzuheben, dass die wasserfassende Kraft, ganz entsprechend der verhältnissmässig geringen Zunahme der Hohlräume bei weiterer Vertheilung*) der Substanz, bei den verschiedenen Bodenarten und Bodenelementen ziemlich wenig verschieden ist, das Verhältniss der verschiedenen Grössen im Maximum nur den Werth von 1 : 2 erreicht,**) was also ebenfalls mit den gemachten Erläuterungen im Einklang sich befindet.

In Betreff der Stellung der wasserhaltenden Kraft zur Fruchtbarkeit des Bodens kann nun nicht Dasselbe wiederholt werden, was in Bezug auf die wasseranziehende Kraft desselben ausgesagt werden musste. Diese konnte als eine regulirend wirkende Kraft betrachtet werden, welche nur zur Geltung gelangen kann, wenn der Boden sehr trocken ist, und eine erneute Wasserzufuhr oder eine Abschwächung der weiteren Verdunstung nur günstig zu wirken vermag. Die wasserhaltende Kraft wirkt durchaus nicht regulirend, sie drückt ja nur die Grösse aus, mit der eine Bodenart den gefallenen Regen auszunutzen vermag, und es ist von vorneherein klar, dass eine grosse Wasser-Kapicität des Bodens in einem regnerischen Klima, in einer feuchten Jahreszeit ebenso schädlich wirken muss, wie sie in einer regenarmen Gegend oder Periode nützlich zu wirken vermag. Es ist von äusseren Zufälligkeiten abhängig, ob dieselbe als eine segenbringende oder schadenstiftende Bodeneigenschaft zu betrachten sein wird.

In der That lehrt uns ein flüchtiger Ueberblick über die Anforderungen, die der Praktiker an den Boden zu stellen pflegt, dass in verschiedenen Gegenden sehr verschiedene Bodeneigenschaften beliebt sind, und, wenn man näher zusieht, ist es die wasserhaltende Kraft ganz vorzugsweise, in Bezug auf die sehr verschiedene Meinungen und Wünsche sich geltend machen, wenn Dies auch selbstverständlich nicht in so scharf präcisirter Weise, sondern durch die dunkle Terminologie der landwirthschaftlichen Praxis in etwas verhüllter Form ausgesprochen wird. Wenn in feuchten und kalten Lagen die leichten Sandböden häufig allen andern vorgezogen werden, in trocknen und warmen dagegen die schweren Bodenarten beliebter sind, so ist Dies natürlich nicht auf eine eigenthümliche Laune der Landwirthe verschiedener Gegenden, sondern im Wesentlichen auf die Vortheile und Nachtheile zurückzuführen, welche geringe und grosse wasserhaltende Kraft unter verschiedenen äussern Umständen haben können.***)

Um Dies vollständig einzusehen, ist es freilich noch nöthig, Etwas näher auf die Nachtheile einzugehen, die eine zu grosse oder eine zu geringe Menge von

*) Sehr deutlich geht dieser Sachverhalt auch aus Zenger's Versuchen hervor (Mulder: Chemie der Ackerkrume III. p. 368), in welchen gezeigt wird, dass Sand und einige Erdarten ihre wasserhaltende Kraft vermehren, wenn man sie zerreibt und schlemmt, während bei Substanzen, die schon an sich äusserst porös sind, wie Torfklein, dies nicht der Fall ist.

**) Dies gilt natürlich nur bezogen auf gleiche Volumen, bezogen auf gleiche Gewichte stellen sich viel auffallendere Unterschiede heraus, die jedoch, wie gesagt, scheinbare sind und mit dem Verhalten einer Ackererde beim Pflanzenbau Nichts zu thun haben.

***) Mulder weist (a. a. O. III. p. 377) sehr deutlich auf die relative Nützlichkeit dieser Bodeneigenschaften in verschiedenen Klimaten hin; aber auch er wirft dabei Condensationsvermögen mit dem sonstigen Bestreben eines Bodens nach Wasserreichthum in einen Topf, während hierin gerade die von uns gemachte Unterscheidung durchaus nothwendig ist.

Wasser in der Ackererde zur Folge haben. Die Nachtheile, welche eine zu grosse Trockenheit der Ackerkrume für den Pflanzenbau mit sich bringt, liegen auf der Hand. Kennen wir ja doch aus unsern Untersuchungen im theoretischen Theil dieses Werks die hohe und mannigfaltige Bedeutung des Wassers für das Pflanzenleben. Dasselbe ist nicht blos Nahrungsmittel der Gewächse, sondern auch das unentbehrliche Transportmittel für weitaus den grössten Theil aller andern pflanzlichen Nährstoffe. Es ist daher nicht nöthig, auch nur ein Wort über die Schädlichkeit einer hervorragenden Trockenheit einer Ackererde für den Pflanzenbau zu verlieren.

Um so merkwürdiger erscheint uns auf den ersten Blick die Möglichkeit eines schädlichen Wasserüberflusses. Wissen wir doch, dass — ganz abgesehen von der Lebensweise vieler Sumpfpflanzen — unsere Kulturpflanzen ganz vortrefflich fortgebracht werden können, wenn man sie in wässrigen Lösungen geeigneter Zusammensetzung erzieht, wo also ihre ganze Wurzel einzig und allein mit tropfbarer Flüssigkeit in Berührung ist und feste Erdtheilchen ganz und gar ausgeschlossen sind.

Indessen kann uns auf die Dauer nicht verborgen bleiben, dass die Verhältnisse in einer solchen Nährstofflösung wesentlich anderer Natur sind, als in einer mit Wasser übersättigten Ackererde, einfach weil dort die Aufmerksamkeit des Versuchsanstellers dafür Sorge trägt, dass die Uebelstände, welche hier unfehlbar zu Tage treten, beseitigt werden. Als solche Uebelstände machen sich kenntlich, *die durchschnittlich niedrige Temperatur*, die nassen Bodenarten nach unsern Auseinandersetzungen in der letzten Vorlesung eigenthümlich sind, und die überall da für das Pflanzenwachsthum schädliche Folgen haben wird, wo es sich um kühle Klimate und wärmebedürftige Kulturen handelt, ferner *die grosse Verdünnung der Nährstofflösungen im Boden,* — ein Gegenstand, der einige Worte der Ausführung bedarf.

Wir haben in der neunundzwanzigsten Vorlesung, wo von der Thätigkeit der Absorptionskräfte im Boden die Rede war, gesagt, dass dieselben als Regulatoren für die Concentration der Bodenlösungen wirkten,*) dass je mehr Wasser in die Ackererde gelange, um so mehr Stoffe (so weit diese den Absorptionswirkungen überhaupt zugänglich sind) auch aus der ungelösten Form in die Bodenlösung überträten; aber wir haben nicht versäumt hinzuzusetzen, dass diese Wirkung keine vollkommene sei, dass, wie aus den Zahlen, die man für das Verhältniss zwischen Absorptionsgrösse und Wassermenge berechnet hat, hervorgeht, die Bodenlösungen doch um so verdünntere seien, je mehr Wasser in den Boden gelange. Aus unseren Wasser- und Sand-Kulturen wissen wir ferner, dass nicht eine jede Concentration der Nährstofflösungen für die Pflanzen zuträglich ist, und es kann gar kein Zweifel darüber herrschen, dass in einer mit Wasser gesättigten Ackererde die Nährstoffconcentrationen im Allgemeinen weitaus zu geringe sind. Also wäre hierin eine weitere Ursache für den möglichen Schaden einer zu grossen Wasserkapicität eines Bodens gefunden.

Aber die Reihe ist noch nicht geschlossen. In einer mit Wasser stets gesättigten Ackererde, in der alle Poren mit Wasser gefüllt sind, und keine mehr für die Circulation von Luft übrig bleiben, — und es kann kein Zweifel daran sein, dass eine Ackererde mit grosser wasserhaltender Kraft mehr zu diesem Zustande neigt,

*) p. 100.

als ein lockerer Sandboden, — ist der Zutritt des Sauerstoffs mehr oder minder ausgeschlossen, und wenn wir auch vielleicht nicht das Recht haben zu behaupten, dass die so verringerte Sauerstoffmenge nicht für den Sauerstoffbedarf der Pflanzenwurzel, die ja wie alle vegetirenden Pflanzentheile eine Athmung unterhält, genüge, da es eine grosse Reihe von Pflanzen gibt, die trotz diesem Zustand der Ackererde recht wohl gedeihen, so können wir doch mit Bestimmtheit aussprechen, dass weitaus die meisten unserer Kulturgewächse in einem solchen Boden aus anderen Ursachen leiden. In den mit Wasser durchtränkten Böden schlägt die Verwesung der in der Erde enthaltenen organischen Substanzen eine ganz andere Richtung ein, wie in den gut durchlüfteten Böden. Es bilden sich die sogenannten sauren Humuskörper von chemisch nicht näher studirter Beschaffenheit, dabei werden gleichzeitig Eisenoxydsalze reducirt zu Oxydulsalzen; kurz es treten eine Reihe von wenig gekannten chemischen Veränderungen ein, wie wir sie z. B. in den Moorböden antreffen, von denen wir nur so viel mit Gewissheit sagen können, dass sie von den meisten unserer Kulturgewächse nicht ertragen werden.

Die geschilderte Erscheinung ist in der Praxis nur zu gut bekannt. Eine Wiese, die an irgend einer Stelle dauernd mit Wasser durchtränkt ist, zeigt an derselben eine ganz andere Vegetation, die der (nach den Eigenschaften des Bodens, auf dem sie wachsen, sogenannten) „sauren" Gräser, welche schon von Weitem erkannt werden kann. Diesen Gräsern, denen kein erheblicher Futterwerth zukommt, ist also die so veränderte Beschaffenheit des Bodens nicht schädlich. Ebenso gedeiht von Kulturgewächsen der Reis und auch wohl das Zuckerrohr auf einem solchen mit Wasser imprägnirten sumpfigen Terrain; alle übrigen Kulturpflanzen und also alle unsere heimischen Kulturgewächse gehen aus zur Zeit physiologisch unbekannten Ursachen in einem solchen zu Grunde. Wir werden nachher bei Besprechung der Undurchlässigkeit des Bodens auf diesen Gegenstand noch einmal kurz zurückkommen.

Aus dieser Darstellung ist vorerst erkenntlich, dass auch ein Uebermass von Wasser im Boden schädlich zu wirken vermag, dass also die Eigenschaft eines Bodens, sich beim Regnen sehr vollkommen mit Wasser zu sättigen, ein zweifelhafter Vortheil ist, dass es ganz von klimatischen Bedingungen und örtlicher Lage abhängen muss, ob in dieser Eigenschaft ein Vortheil oder ein Nachtheil zu sehen ist, und dass sich schliesslich die Relativität des praktischen Urtheils bestätigt, das je nach Trockenheit, Nässe, Wärme und Kälte eines Ortes für die Zwecke der Kultur einem Boden von den oder jenen Eigenschaften den Vorzug gibt.*)

Ein weiteres Verhalten des Bodens dem Wasser gegenüber, das für unsern Zweck in Betracht kommt, ist die *kapillare Wasserleitung* in demselben, das völ-

*) Es ist hier noch an einen von Mulder hervorgehobenen Punkt zu erinnern, dass ein Boden von geringerer Wasserkapacität mehr Regenwasser fliessen lässt und so grössere Gelegenheit zum Auswaschen eines Bodens gegeben ist. Es würde hierin ein Moment liegen, was im entgegengesetzten Sinne wirkte, wie das im Text hervorgehobene, indem in Folge desselben gerade in regenreichen Klimaten der Boden mit kleiner Wasserkapacität einen Nachtheil bieten würde. Doch ist dasselbe für die meisten Verhältnisse wohl nicht von erheblicher Bedeutung.

lige Analogon der Wärmeleitung, doch praktisch von grösserer Wichtigkeit als diese. Die kapillare Wasserleitung, welche auch als Haarröhrchenkraft, wasseraufsaugende Kraft bezeichnet worden ist, wird gemessen durch die Geschwindigkeit, mit der eine getrocknete Erde, die z. B. in eine nach Unten offene Glasröhre gefüllt ist und durch Einstellen dieser in ein Wasserreservoir mit Wasser auf der einen Seite in Berührung gebracht wird, sich bis zu einer gewissen Höhe vollsaugt, oder durch die Höhe, die das Wasser in einer solchen mit Erde gefüllten Röhre in einer gewissen Zeit oder im Maximum erreicht.

Wenn wir überlegen, wovon diese kapillare Steiggeschwindigkeit und die Steighöhe des Wassers abhängt, so können wir schon mit Gewissheit vorhersagen, dass die kapillare Wasserleitung bei verschiedenen Bodenarten sehr verschiedene Werthe annehmen muss. Die Physik lehrt uns, dass die Höhe, bis zu der eine Flüssigkeit in dem kapillaren Röhrensystem eines Körpers steigt und ebenso die Geschwindigkeit, mit der sie diese Steigung ausführt, durch zwei Grössen bestimmt wird, durch die spezifischen kapillaren Anziehungskräfte *) der Flüssigkeit zu dem festen Körper und von der Weite des kapillaren Röhrensystems. **)

Die verschiedenen festen Substanzen, die eine Ackererde zusammensetzen, haben nun natürlich sehr verschiedene Anziehungskräfte zum Wasser, obgleich sie alle benetzbar sind; ***) und dass die Kapillarzwischenräume in Ackererden von verschieden feinem Korn verschieden sein müssen, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Wir werden also in Ackererden von abweichender chemischer und mechanischer Beschaffenheit eine sehr verschiedene Befähigung, wässrige Flüssigkeit fortzuleiten, zu erwarten haben, wenn auch diese Befähigung bis zu einem gewissen Grade einer jeden Ackererde zukommt.

Und so ist es in der That. Mit Ackererden sind Versuche nach der eben angedeuteten und beinahe selbstverständlichen Methode in grosser Anzahl ausgeführt worden, welche die ausserordentliche Verschiedenheit der kapillaren Wasserleitung auf's Deutlichste demonstriren. Um einen Ueberblick über die verschiedene Befähigung der einzelnen Bodenarten in dieser Hinsicht zu gewinnen, mache ich folgende Angaben, welche von Meister †) ermittelt worden sind.

*) Die nicht mit den hygroskopischen Kräften verwechselt werden dürfen.

**) Die Steighöhe einer Flüssigkeit in einer Röhre ist gleich einer Constanten, die blos bedingt wird durch die Flüssigkeit und die Röhrensubstanz und als deren specifische kapillare Anziehung betrachtet werden kann, dividirt durch den Radius der Hohlräume (dieselben von kreisförmigem Querschnitt gedacht).

***) Die Voraussetzung für die Benetzbarkeit ist, dass die Molekule der Flüssigkeit von den Molekulen der Wand mehr wie ein halbmal so stark angezogen werden, wie die Molekule der Flüssigkeit sich selbst anziehen. Die Benetzbarkeit, die erste Voraussetzung für die Möglichkeit einer kapillaren Leitung, ist also durch keine absolute Anziehungskraft bedingt, sondern durch das Verhältniss zweier Anziehungskräfte. Das Quecksilber hat eine bedeutende kapillare Anziehungskraft zum Glas, allein jenes Verhältniss bleibt wegen der bedeutenderen Molekularanziehung der Quecksilbermolekule unter sich $< 1/2$, und desshalb ist Glas für Quecksilber nicht benetzbar, desshalb tritt bei Quecksilbersäulen in Glasröhren eine sogenannte Kapillardepression ein.

†) A. a. O. p. 42.

Erdarten.	Saughöhe des Wassers nach 1/2 Stunde,	nach 5 1/2 Stdn.,	nach 6 1/2 Stdn.,	nach 21 1/2 Stdn.
Thonboden	340	1100	1150	2000
Humus	400	1100	1140	1770
Gartenerde	290	950	980	1610
Quarzsand	440	920	970	1170
Torfboden	260	500	570	1140
Sandboden	450	620	660	900
Gypsboden	120	400	400	820
Kreideboden	60	330	540	700

Aus diesen Zahlen kann gefolgert werden, dass den Thonböden die grösste Fähigkeit der kapillaren Wasserleitung*) zukommt, dass sich dann etwa die humosen Erden und dann die Sandböden anreihen, und dass den Gyps- und Kreideböden jene Fähigkeit im geringsten Grade**) zukommt. Zugleich ergibt sich aus den mitgetheilten Zahlen***) die interessante Thatsache, deren Deutung vorerst bei dem noch so unbedeutenden Versuchsmaterial übrigens schwer fallen wird, dass die Steiggeschwindigkeit des Wassers auch bei gleicher endgültiger Steighöhe für die verschiedenen Erdarten eine sehr verschiedene ist. Beim Quarzsand und namentlich beim Sandboden erfolgte die Wasseraufnahme verhältnissmässig sehr rasch, im Torf und Kreideboden ausserordentlich langsam.

Leider hat man es aber in allen diesen Angaben über die wasseraufsaugende Kraft mit jenen *zwei* bedingenden Momenten *gleichzeitig* zu thun, mit der eigenthümlichen Substanz mit ihrer spezifischen Kapillaranziehung zum Wasser und mit der Weite der Zwischenräume. Dadurch wird es verhindert, einen ganz klaren Ueberblick darüber zu bekommen, wie viel das eine oder das andere Moment verschuldet, und Etwas Exaktes darüber auszusagen, wie es mit der Kapillareigenschaft dieser oder jener chemischen Substanz, die ein Element der Ackererde ist, steht.

*) Strenggenommen ist zu unterscheiden zwischen kapillarer Wasserleitung, wobei die kapillaren Zwischenräume sich mit Wasser anfüllen, und derjenigen, wobei diese lufterfüllt bleiben und nur die Bodentheilchen mit dünnen Flüssigkeitsschichten überzogen sind. Diese letztere Wasserleitung ist von J. Sachs als die hygroskopische bezeichnet worden (vergl. Landw. Versuchsst. 1860. p. 8). Obwohl nun diese Art der Wasserbewegung weit häufiger für die natürliche Ackererde in Betracht kommt, als jene kapillare Leitung mit wassererfüllten Hohlräumen, so bedarf dieser Vorgang doch im Text keiner besonderen Behandlung, da aus den schönen Versuchen J. Nessler's (vgl. Bad. landwirthsch. Correspondenzblatt 1860. p. 217—248) hervorzugehen scheint, dass beide durch dieselben Kräfte regiert werden, wie Dies auch der Theorie nach erwartet werden durfte. Es gelten daher die im Texte gemachten Ausführungen auch für jene sogenannte hygroskopische Wasserbewegung. Bei künftigen Versuchen über Wasserleitung ist indessen das Augenmerk auf die Duplicität dieser Erscheinung zu richten, wodurch ohne Zweifel eine Reihe der jetzt noch bestehenden Unklarheiten werden beseitigt werden. Einstweilen empfehle ich die citirte Nessler'sche Arbeit dem Studium eines Jeden, der mehr als das hier Angedeutete über den Gegenstand zu wissen wünscht.

**) Uebrigens hat E. Wolff für die kapillare Wasserleitung Zahlen ermittelt, die mit den oben gegebenen in entschiedenem Widerspruch stehen; vergl. dessen Anleitung zur Chem. Untersuchung 1867. p. 66.

***) Vgl. auch die Versuche von Wilhelm: Jahresber. f. Agrik. chem. 1862/63. p. 20.

Um hierüber einen klaren Ueberblick zu gewinnen, wäre es anzurathen, mit den verschiedenen Substanzen zu experimentiren, nachdem man sie mittelst zweier Siebe von allen über und unter eine gewisse Korngrösse hinausgehenden Theilchen gleichmässig befreit hätte, wodurch, trotz der noch immer möglichen Gestaltungsverschiedenheit der einzelnen Körner, doch annähernd gleiche Kapillarräume erzielt werden könnten. Auf diese Weise würde man rasch ein Urtheil bekommen über die relative Wasserleitungsfähigkeit der einzelnen die Ackererden constituirenden Substanzen. Dasselbe würde für die Leitungsfähigkeit einer und derselben Substanz von verschiedener mechanischer Zertheilung auf dem gleichen Weg durch Anwendung verschiedener Siebe erlangt werden können.*)

Nachdem wir uns so eine Vorstellung von der Befähigung verschiedener Bodenarten, das Wasser in ihren kapillaren Zwischenräumen zu leiten, verschafft haben, handelt es sich darum, eine Einsicht in die Art der Wirksamkeit dieser Bodeneigenschaften zu gewinnen, — ein Urtheil darüber zu erlangen, ob und wann wir es in denselben mit nützlichen oder schädlichen Eigenthümlichkeiten zu thun haben.

Die kapillare Wasserleitung wird sich selbstredend nur da geltend machen können, wo durch irgend eine äussere Ursache eine Verschiedenheit in dem Wassergehalt der einzelnen Bodenschichten eintritt, da sie in Nichts Anderem besteht als in der Ausgleichung dieser Verschiedenheit. Der Anstoss zu einer ungleichartigen Wasservertheilung in der Ackererde wird unter natürlichen Verhältnissen meist von obenher kommen. Es fallen atmosphärische Niederschläge auf den Boden, welche die obersten Schichten durchnässen, oder der Boden trocknet von oben her ab, und diese Schichten werden so zuerst des Wassers beraubt. Ein Durchnetzen von einem feuchten Untergrund her ist ein bei Weitem seltenerer Fall, ein Trocknen von unten her geradezu undenkbar.

Sehen wir nun zu, wie in diesen möglichen Fällen die verschiedene Befähigung, das Wasser zu leiten, wirken muss. Fällt auf eine Ackererde, in welcher die kapillare Wasserleitung nur langsam vor sich geht, ein Regenguss, so wird das Wasser nicht rasch eindringen, sondern zum grossen Theil oben abfliessen, ohne eine Durchfeuchtung der Erde bewirkt zu haben, ähnlich wie wir Dies häufig an Häufen von Chausséestaub nach einem starken Regenguss zu unserm Erstaunen wahrnehmen, wenn wir sie mit dem Fuss zertheilen. Es kann kein Zweifel daran sein, dass ein solches Verhalten der Ackererde unter manchen Umständen und namentlich in trockenen Klimaten, wo es sich darum handelt, von einem gefallenen Regen möglichst viel Nutzen zu ziehen, schädlich wirken wird. Es ist dasselbe etwa einer geringen Wasserkapacität des Bodens zu vergleichen, und daraus geht zugleich die Relativität einer solchen Schädlichkeit hervor. Uebrigens ist darauf hinzudeuten, dass bei einer Ackererde, die ja niemals die Lockerheit von angehäuftem Chausséestaub besitzt, eine so ausserordentlich schlechte Leitungsfähigkeit nicht erwartet werden darf. Es ist nach den vorhin gemachten Angaben unnöthig, hier nochmals auf die einzelnen Boden-

*) Für diejenigen dieser Substanzen, welche sich, wie Kalkspath, Gyps, Quarz, in Platten darstellen lassen, würden exaktere Resultate durch Bestimmung der Steighöhe zwischen zwei solchen Platten, die in messbaren Entfernungen von einander aufgestellt sind, erlangt und zu Schlüssen für die Verhältnisse der Ackererde benutzt werden können.

arten aufmerksam zu machen, welche bei starker äusserer Benetzung am Ersten eine innerliche Trockenheit bewahren werden.

Ganz im umgekehrten Sinne aber werden sich die Böden von geringer Leitungsfähigkeit für Wasser verhalten, wenn von oben her eine Austrocknung erfolgt. In diesem Falle trocknen die oberen Bodenschichten rasch ab; allein diesen wird das Wasser von Unten nur langsam mitgetheilt, so dass ein so beschaffener Boden weit länger den austrocknenden Einflüssen in seinen tieferen Schichten zu widerstehen vermag *). Hier wirkt eine geringe Leitungsfähigkeit für Wasser also entschieden günstig, da es sich in diesem Falle ja unter keinen Umständen um ein Uebermass von Wasser handeln kann. Während also beim Regnen eher eine bedeutende Leitungsfähigkeit der Ackererde als eine für das Pflanzenwachsthum förderliche Eigenschaft angesehen werden darf, und nur vielleicht für feuchte Gegenden das Umgekehrt erwünscht sein mag, so ist ohne Zweifel doch in trocknen Perioden eine geringe Leitungsfähigkeit vorzuziehen.

Wir haben also hier zum ersten Male den Fall vor uns, dass eine und dieselbe Bodeneigenschaft an einem und demselben Orte bald nützlich, bald schädlich zu wirken vermag, und es erscheint Dem gegenüber eigentlich unthunlich, eine Ackererde von idealen Eigenschaften herzustellen. Nun ist es aber möglich, so merkwürdig Dies auch auf den ersten Blick erscheinen mag, in einer Ackererde grosse und geringe Leitungsfähigkeit gleichzeitig in einer Weise herzustellen, dass sie sich sowohl bei Regenfall als bei Trockenheit möglich günstig verhält. Es ist diesen scheinbar unlösbaren Widerspruch zu erfüllen dadurch möglich, dass man einen an sich gut leitenden Boden oberflächlich lockert. Durch diese obere lockere Schicht dringt das gefallene Regenwasser leicht ein, nicht weil in derselben kapillare Leitung stattfindet, sondern einfach vermöge seiner Schwere, bis zu den tiefern Schichten, wo kapillare Leitung erfolgt. Anders ist es aber beim Austrocknen. Von Unten nach Oben kann das Bodenwasser eben nur durch kapillare Leitung gelangen, und da diese durch die oberflächliche Lockerung in den obersten Bodenschichten unmöglich gemacht wird, so trocknen nur diese aus, lassen aber kein Wasser aus den festen Bodenschichten durch sich hindurch an die verdunstende Oberfläche gelangen. **)

Auf diese Weise gelingt es also in der That, eine Ackererde herzustellen, welche das scheinbar Unmögliche leistet, sich in der Zeit, wo es regnet, wie eine das Wasser gut leitende, in den trockenen Perioden wie eine schlecht leitende zu verhalten und auf die Weise für einen grossen und ziemlich gleichmässigen Gehalt an Wasser zu sorgen — ein Verhalten, welches in trocknen Gegenden und Jahreszeiten von hohem Werthe ist. Unsere landwirthschaftlichen Manipulationen, die in einer solchen oberflächlichen Lockerung eines mit Pflanzen bestandenen Bodens bestehen, das Hacken und Häufeln, lassen sich wohl zum grössten Theil auf den eben darge-

---

*) Von dem Aufsteigen und der oberflächlichen Ansammlung der im Bodenwasser gelösten Stoffe mit diesem Wasser haben wir einmal früher gesprochen, vgl. II. p. 106 Anm.

**) J. Nessler hat das Verdienst, auf die verringerte Verdunstung einer oberflächlich gelockerten Erde an verschiedenen Orten am Deutlichsten hingewiesen und den Grund dieser Erscheinung klar eingesehen zu haben. Vgl. Bad. landw. Correspondenzbl. 1860. p. 230 u. Bericht d. II. Wanderversamml. bad. Landw. u. s. w. 1867. p. 79.

legten Gesichtspunkt zurückführen, wenn auch durch dieselben gleichzeitig ein Zerstören des Unkrauts, eine Vermehrung der den einzelnen Pflanzen zur Verfügung stehenden Erdmasse und dergleichen mehr bewirkt wird. Die kapillare Wasserleitung, die in ihrer Grösse und Geschwindigkeit wesentlich abhängig ist von der Weite der Zwischenräume der festen Masse und im umgekehrten Verhältnisse zu dieser steht, ist ein wesentliches Element einer dauernden Verdunstung, gerade wie eine gute Wärmeleitung die Erkaltung eines Bodens durch Ausstrahlung bis in tiefere Schichten wesentlich unterstützt, und wo es gelingt, durch Erweiterung jener Zwischenräume dieselbe auf ein Minimum herabzudrücken, da kann man auch die Austrocknung durch Verdunstung auf die obersten Bodenschichten beschränken und so der Vegetation ein sehr beständiges Reservoir von Feuchtigkeit im Boden aufbewahren. *)

Wir haben schliesslich die *Durchlässigkeit* **) eines Bodens als ein für den Pflanzenbau beachtenswerthes Verhalten desselben gegen Wasser bezeichnet. Man versteht unter diesem Ausdruck die Filtrationsfähigkeit namentlich der tieferen Bodenschichten, welche es verhindert, dass ein Boden sich über seine wasserhaltende Kraft, seine Wasserkapacität hinaus mit Wasser sättigt.

Ein constituirender Bestandtheil der Ackererde hat nemlich im reinen Zustand die entgegengesetzte Eigenschaft und theilt dieselbe allen Bodenschichten mit, welche sehr vorwiegend diesen Bestandtheil enthalten. Der *Thon* hat bekanntlich die eigenthümliche Fähigkeit, mit etwas Wasser zusammen eine sogenannte „plastische“ Masse zu bilden, eine Masse, welche die eingeschlossenen Wassertheilchen mit solcher Energie festhält, dass es auch einem sehr bedeutenden hydrostatischen Drucke nicht gelingt, dieselben durch andere Wassertheilchen zu verdrängen. Eine gründliche theoretische Behandlung hat, so viel mir bekannt, diese merkwürdige Eigenschaft bisher nicht erfahren, und wir kennen desshalb nicht die Ursache, warum in diesem Falle die festgehaltenen Wassertheilchen nicht wie andere kapillar festgehaltene durch neue Wassertheilchen verdrängt werden können, die, wie man meinen sollte, ihre Stelle doch ebenso gut zu vertreten im Stande wären. Aber Dies beweist nur, dass wir noch keine ausreichende Vorstellung besitzen von den bei einer derartigen plastischen Masse zur Geltung kommenden Kräften, und lässt jedenfalls die Vermuthung zu, dass bei jener Erscheinung noch andere Kräfte mit in's Spiel kommen, als blos die kapillaren.

Genug, sehr thonreiche Massen zeigen die geschilderte Eigenschaft, die sie in vielen Fällen zum Dichtmachen mit wässriger Flüssigkeit gefüllter Behälter tauglich

*) Wie sich ein oberflächlich gelockerter Boden der Condensation von Wasser gegenüber verhält — ein Vorgang, bei dem die sogenannte hygroskopische Wasserleitung in Betracht kommt — lässt sich nach den Nessler'schen Versuchen im Allgemeinen nicht angeben, da die Erfolge unter verschiedenen Umständen einander entgegengesetzt waren. Dies Resultat erklärt sich einfach aus dem Vorsprung, den die lockere Erde der Wasseraufnahme durch leichtere Circulation der feuchten Luft in derselben gewährt, und aus jenem anderen, den die dichtere Erde durch die schnellere sogenannte hygroskopische Fortleitung des aufgenommenen Wassers gewinnt (vergl. p. 233 des citirten Aufsatzes im landwirthschaftlichen Correspondenzblatt).

**) Ueber die Bestimmung dieser wie aller anderen Eigenschaften des Bodens dem Wasser gegenüber siehe E. Wolff: Anleitung zur chemischen Untersuchung u. s. w. 1867. p. 54—67.

macht und welche in Bezug auf ihr Auftreten in den tieferen Schichten der Ackererde als Undurchlässigkeit bezeichnet wird. Solche thonige Massen treten häufig da im Untergrund auf, wo der Boden unter wechselnden Bedingungen aus süssem Wasser sich abgesetzt hat. In den oberen Bodenschichten ist alsdann schon durch die mechanische Bearbeitung des Ackerlandes eine Vermischung der verschiedenen Schichten eingetreten, in den unteren dagegen kann z. B. Sand und Thon in wechselweisen Lagen vorhanden sein, und der Boden ist ein undurchlässiger. Oder man hat es auch wohl mit einem durch und durch thonigen Boden zu thun, z. B. mit einem Kleyboden, der durch seine ganze Masse ein ziemlich undurchlässiger ist und nur in der bebauten Schicht durch Bearbeitung, Vermischung mit Pflanzenresten, oder geradezu durch Ueberführen mit Sand seine plastische Beschaffenheit einiger Massen verloren hat.

Wie wird sich nun ein solcher undurchlässiger Boden durch die Eigenthümlichkeit seiner Wasseraufspeicherung dem Pflanzenwachsthum gegenüber verhalten? — Sein Verhalten lässt sich vielleicht am Zutreffendsten so bezeichnen, dass man sagt, ein undurchlässiger Boden habe fast eine jede Fähigkeit, seinen Wassergehalt zu reguliren, ihn von äusseren Umständen unabhängig zu machen, eingebüsst. Regnet es stark, so wird sich ein undurchlässiger Boden nicht blos bis zur Sättigung seiner wasserhaltenden Kraft mit Feuchtigkeit imprägniren, das überschüssige Wasser aber abfliessen lassen; er wird vielmehr über die Kapacität seiner Krume hinaus nasser und nasser werden, bis es dem Himmel gefällt, mit dem Regnen inne zu halten; — seine wasserhaltende Kraft ist gleichsam unendlich gross geworden.

Aus dieser einfachen Betrachtung gehen nun sofort die Eigenschaften hervor, die ein undurchlässiger Boden dem Pflanzenwachsthum gegenüber zeigen muss. Derselbe hat jede Fähigkeit verloren, einen schädlichen Ueberfluss an Wasser abzuwehren. Daraus folgt, dass er in einer regenreichen Gegend, in einer nassen Jahreszeit ein für das Pflanzenwachsthum sehr ungünstig geeigenschafteter ist, dass er dagegen in trockenen Gegenden oder Zeiten sich nicht erheblich von irgend einem durchlässigen, sonst ähnlich gearteten Boden unterscheiden wird. Im ersteren Falle wird er alle die Missstände zeigen, welche wir für Böden von grosser wasserhaltender Kraft schon zu schildern versuchten, nur noch in eminent höherem Grade.

In einem undurchlässigen Boden werden in regenreichen Zeiten sich alle Poren mit Wasser anfüllen, vielleicht gar noch eine Wasserschicht über der Erde sich ansammeln, eine wahre Sumpfbildung eintreten.

Alle die früher geschilderten Missstände: Mangel von Sauerstoff in der Umgebung der Pflanzenwurzel, Bildung von sauren Humussubstanzen, sehr grosse Verdünnung der Nährstofflösung, Reduktion der im Boden enthaltenen Eisenoxydverbindungen u. s. w. greifen Platz und machen den Boden unbewohnbar für unsere einheimischen Kulturgewächse.

Aus der gemachten Schilderung geht hervor, dass die Durchlässigkeit des Untergrunds für regenreiche Klimate, wie die der gemässigten Zone ein absolutes Erforderniss ist. Man sucht daher, wo dieselbe nicht vorhanden ist, sie künstlich zu beschaffen, meistens durch Legung von Drainröhren*), durch welche das über die

*) Auch durch Heraufpflügen der thonigen Schicht durch Untergrundspflüge.

wasserhaltende Kraft der Ackerkrume hinaus sich ansammelnde Wasser abfliessen kann. Das Drainiren des Bodens, namentlich des Wiesengeländes spielt mit die erste Rolle unter den landwirthschaftlichen Manipulationen, die als Meliorationen d. i. dauernde Qualitätsverbesserungen von Grundstücken bezeichnet werden. Ganz den Resultaten dieser Manipulation entsprechend nennt man dann auch Böden, die von Natur einen ausgezeichnet durchlässigen Untergrund z. B. Kies, Geröll oder sonst grobe Gesteinsmassen, die grosse Räume zwischen sich leer lassen, besitzen, natürlich drainirte Böden*).

Ich darf übrigens nicht unerwähnt lassen, dass diese natürliche Drainage auch in unserem Klima unter Umständen zu weit gehen kann. Wenn eine Ackerkrume eine geringe wasserhaltende Kraft besitzt und wenig tiefgründig ist und dann im Untergrund eine solche steinige Masse ohne alle wasserhaltende Kraft folgt, so ist das Wasserquantum, das ein solcher Boden zurückzuhalten vermag, vielleicht so gering, dass es für trockene Perioden nicht lange vorhält. Sogar bei Weinbergen in Gebirgsgegenden auf felsigem zerklüftetem Terrain hat man Erfahrungen gemacht, welche auf die Missstände eines zu stark drainirten Bodens hinweisen und welche namentlich in sehr geringen Quantitäten des Ertrags bestehen. Allein hier ist es eigentlich nicht die Durchlässigkeit, die schädlich wirkt, sondern die zu geringe wasserhaltende Kraft der oberen Bodenschichten.

In ganz ähnlicher Lage wie ein Boden mit undurchlässigem Untergrund, also der Versäuerung und Versumpfung ausgesetzt, befindet sich ein Boden, in dessen Krume das Niveau des Horizontalwassers fällt. Allein diese Erscheinung ist im Grunde Nichts sehr Verschiedenes von jener. Häufig ist gerade eine undurchlässige, nur etwas tiefer liegende Schicht die Ursache eines so hohen Stands des Horizontalwassers, und die Mittel die gegen diesen Zustand getroffen werden, sind den eben erwähnten durchaus ähnlich, ja dieselben, nur im grösseren Massstabe. Man zieht Gräben oder vertieft dieselben, wo sie schon vorhanden sind so lange, bis es gelungen ist, dem stehenden Wasser Abzug zu verschaffen, bis der Spiegel des Horizontalwassers tiefer gelegt ist.

Wenn wir nun schliesslich die verschiedenen Eigenschaften des Bodens dem Wasser gegenüber noch einmal zusammenfassen und uns die Frage stellen, welche Bodenarten sind die nässesten, welche die trockensten unter gleichen klimatischen Bedingungen und welche werden voraussichtlich die grösste Unregelmässigkeit in ihrem Wassergehalte zeigen? — so bemerken wir bald, dass die Beantwortung solcher Fragen nicht in so einfacher Weise geschehen kann, wie bei Besprechung des Verhaltens der Böden gegen Wärme. Dennoch wollen wir eine Beantwortung, soweit sie möglich, versuchen.

Nasse Bodenarten werden bei grosser Regenmenge alle *undurchlässigen Böden* sein d. u. also Böden, welche im Untergrund eine zusammenhängende thonige

*) Solche gröbere Hohlräume im Untergrund, die kein Wasser kapillar festzuhalten vermögen, scheinen für alle feuchtere Gegenden nothwendig zu sein. Ein Boden, der bis in sehr grosse Tiefen oder wenigstens bis zum Niveau des Horizontalwassers nur kapillare Hohlräume enthält, wird, einmal mit Wasser gesättigt, der Circulation von Luft weit grössere Schwierigkeiten entgegensetzen, als ein Boden, der auch im Untergrund lufterfüllte Hohlräume enthält.

Schicht besitzen, und kommen in diesem Falle die übrigen physikalischen Bodeneigenschaften kaum in Betracht.

Verhältnissmässig feuchte Böden bei grosser Regenmenge werden unter den durchlässigen Böden solche sein, welche *eine grosse wasserhaltende Kraft* besitzen, also feinkörnige Bodenarten besonders lehmiger und humoser Natur, und welche *oberflächlich gelockert* sind.

Verhältnissmässig feuchte Böden werden bei geringer Regenmenge und in trocknen Perioden solche Bodenarten sein, welche *grosse wasseranziehende Kraft* besitzen, also namentlich humose Böden, und welche *eine gelockerte Oberfläche* besitzen, und kommt in diesem Falle die Durchlässigkeit nicht wesentlich in Betracht.

Trockne Böden werden bei grosser und kleiner Regenmenge immer diejenigen Bodenarten sein, die sich genau entgegengesetzt verhalten, also z. B. in regenarmen Perioden *die Sandböden mit fester Oberfläche*, in nässeren Perioden *dieselben mit stark drainirtem, kiesigem Untergrund**).

Böden von grosser Gleichmässigkeit ihres Wassergehalts bei vielfach wechselnden äusseren Verhältnissen werden namentlich solche sein, die *durchlässig, tiefgründig* und *von gelockerter Oberfläche* sind, eine *geringe Leitungsfähigkeit* und im trocknen Zustand *eine grosse Anziehungskraft für Wasser* besitzen und *eine kleine wasserhaltende Kraft* haben, — Eigenschaften, die in der Natur nur zu selten vereinigt zu finden sind.

Böden von wechselndem Wassergehalt bei wechselnden äusseren Verhältnissen sind natürlich diejenigen, die gegen möglichst viele der eben gegebenen Postulate verstossen.

Mit diesen Betrachtungen hätten wir dann auch das Wesentliche, das über die physikalischen Eigenschaften der Ackererde in allgemein theoretischer Behandlung gegeben werden kann, erledigt und damit zugleich das Kapitel vom Boden als Vegetationsapparat und somit auch den Abschnitt von den realen natürlichen Bedingungen, unter denen die Pflanzen ihren Vegetationsprocess zu vollziehen angewiesen sind, abgeschlossen.

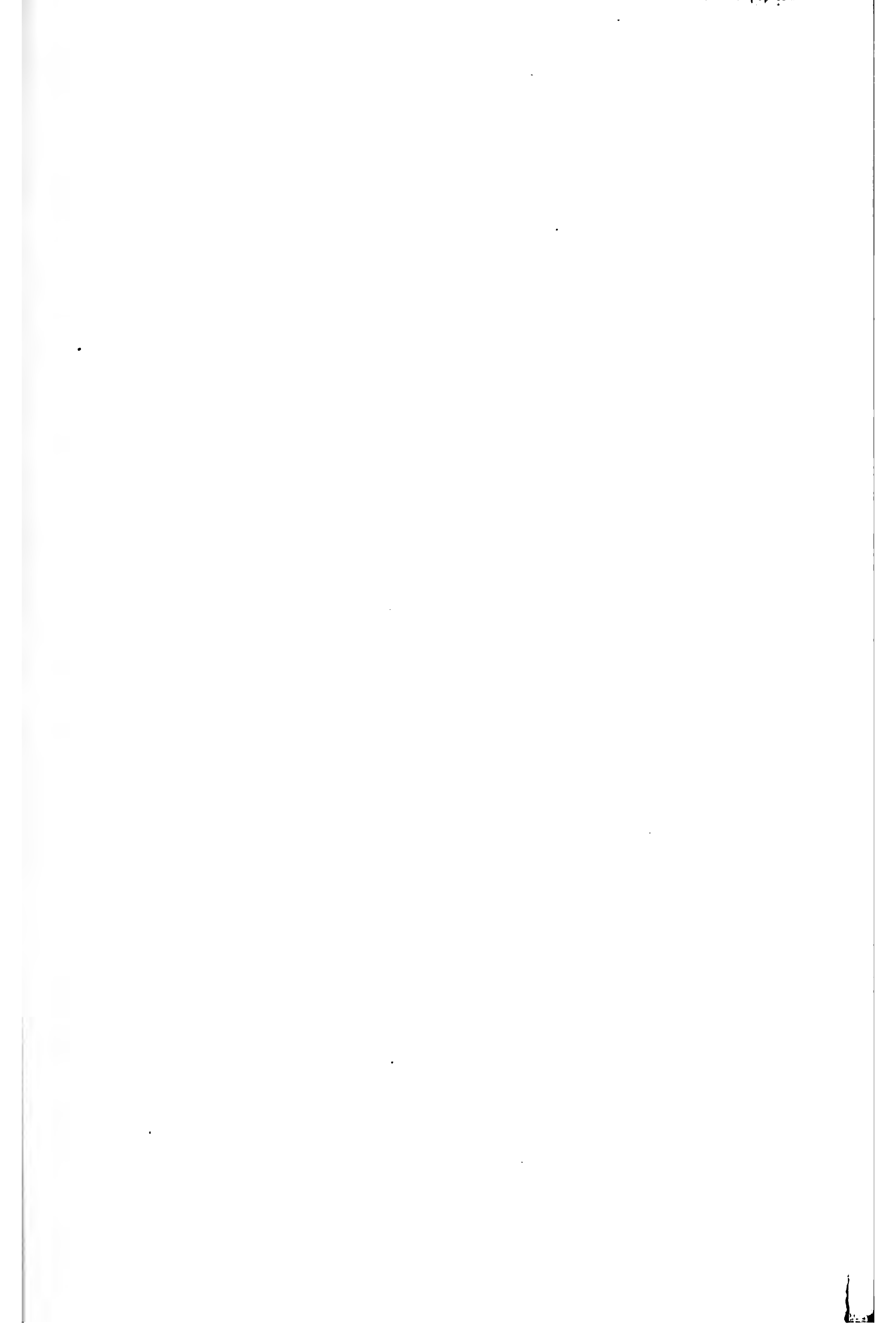
Unsere weiteren Untersuchungen werden sich nun lediglich darauf erstrecken, in wie weit diese von der Natur gegebenen Bedingungen einer für das Pflanzenwachsthum günstigen künstlichen Veränderung überhaupt, aber namentlich unter den Umständen fähig sind, wo durch wirthschaftliche Eingriffe jene natürlichen Bedingungen sich nach und nach unvortheilhafter gestaltet haben, wo mit andern Worten durch die regelmässige Entnahme von Ernten sich die Bodenfruchtbarkeit verändert hat.

---

*) Beim Zusammenfassen dieser Verhältnisse würden strenggenommen noch einige andere Faktoren Berücksichtigung erheischen. Die verschiedene Erwärmungsfähigkeit der einzelnen Bodenarten beeinflusst natürlich deren Verdunstungsgrösse, gerade wie umgekehrt die feuchten Böden ein eigenthümliches Verhalten gegen die Wärme zeigen, und weil z. B. humose Böden wegen ihrer dunklen Färbung besonders viel Wärme in der Sonne absorbiren, werden dieselben thatsächlich nicht ganz so feucht sein, als Dies nach der vorgenommenen Zusammenstellung erscheinen möchte. Allein es ist natürlich nicht möglich, alle diese Momente in ihrer endlosen Wechselwirkung zu berücksichtigen.

Zweiter Abschnitt.

Die Düngung.



Zweiunddreissigste Vorlesung.

Die Düngung. — Uebersicht über die natürlichen und künstlichen Düngemittel.

Bei unsern Betrachtungen über die Eigenschaften der Ackererde dem Pflanzenwachsthum gegenüber haben wir eine Reihe von natürlichen Momenten kennen gelernt, durch deren Zusammenwirken jene Eigenschaften auf einem unbebauten Boden wesentlich bestimmt werden. Es waren Dies: *Die ursprüngliche geognostische Beschaffenheit der mineralischen Grundlage der Ackererde, der Grad und die Richtung ihrer chemischen Veränderung, die mechanische Trennung der verschiedenen Verwitterungsprodukte* und endlich *die Einwirkung des Pflanzenwuchses selber.*

Es kann uns nicht länger verborgen bleiben, dass für einen von Menschenhand kultivirten Boden, dessen Betrachtung wir uns jetzt ausschliesslich zuwenden, noch ein neues Moment hinzutritt, von dessen Wirksamkeit ebenso die Fruchtbarkeit eines solchen Bodens abhängen muss, wie von der der übrigen Momente.

Wenn in einem Urwald, oder sonst auf einem unbebauten Länderstrich eine Pflanzengeneration der andern folgt, so ist beim Aufblühen der einen die alte immer noch in ihren Trümmern vorhanden. Die neu sich entfaltende Vegetation findet in diesen Trümmern eine reichhaltige und zweckmässige Nahrung vor; sie befindet sich sogar meistens unter günstigeren Ernährungsbedingungen, als ihre Vorgängerin*), namentlich wenn diese von einem noch unbewohnten Boden Besitz ergreifen musste. Die Gründe hiefür haben wir am geeigneten Orte genugsam dargelegt**).

Um indessen einen Begriff davon zu erhalten, was durch den systematischen Eingriff des Menschen in diese natürlichen Verhältnisse an Fruchtbarkeitsbedingungen verändert wird, müssen wir uns noch einmal klar zu machen suchen, was eigentlich durch die Ansammlung von Pflanzenresten in Bezug auf die einzelnen Fruchtbarkeitsfactoren geschieht, denn die *erste Veränderung*, die sich mit dem beginnenden Ackerbau einstellt, besteht ja eben in der *Wegführung* eines Theils dieser Pflanzensubstanz, welche dem natürlichen Lauf der Dinge nach auf den Feldern verblieben wäre. Wir werden uns Dies leicht mit einigen Worten in's Gedächtniss zurükrufen können.

---

*) Ich erinnere z. B. an die Erfolge der Gründüngung.

**) Siehe die siebenundzwanzigste Vorlesung p. 56 u. f.

Jene Einwirkung des Pflanzenwuchses auf den Boden bestand wesentlich in der Einverleibung von verwesenden Substanzen, deren chemische und physikalische Vortheile für die Ackererde wir eingehender beleuchtet haben. Ich erinnere nur an die reichlichere Quelle an gebundenem Stickstoff und an Kohlensäure, welche in einem mit Pflanzenresten durchdrungenen Boden vorhanden ist. In Bezug auf die Aschenbestandtheile bestand dagegen die ganze Veränderung in einer Verrückung ihrer örtlichen Lage im Boden und in einer chemischen Umwandlung derselben, genauer in einer Concentrirung an der Bodenfläche und einer Ueberführung derselben in im Allgemeinen zugänglichere Formen. *Die absolute Menge* der auf einem Grundstück bis in grössere Tiefen vorhandenen Aschenbestandtheile bleibt dagegen auch bei der reichhaltigsten und Jahrhunderte lang währenden natürlichen Vegetation *ungeändert**). Wenn wir also Boden und darauf befindliche Vegetation als ein Ganzes betrachten, so können wir sagen, dass überall dort, wo nicht wie in unserem landwirthschaftlichen Betriebe systematisch Ernten entnommen werden, stets die Summe derjenigen pflanzlichen Nährstoffe, deren Umtrieb nicht durch die Atmosphäre besorgt wird, auf einer und derselben Grundfläche dieselbe bleiben wird, wenn auch deren Anordnung vielfach eine andere dem Pflanzenwuchs günstigere wird, und hierin namentlich die Thätigkeit tiefwurzelnder Gewächse Ausserordentliches zu leisten vermag. Hieraus folgt nun der unserer Erfahrung sehr geläufige Satz, dass ein mit Pflanzen bestandener Boden, der von der Menschenhand unberührt bleibt, auch in ewigen Zeiten Nichts an seiner Befähigung, der Vegetation zu dienen, einbüsst, vielmehr bis zu einem gewissen Grade von Jahr zu Jahr fruchtbarer wird, wenn nicht sonst zufällige Hindernisse störend eingreifen.

Ganz anders gestaltet sich diese Sachlage, wenn der Mensch, welcher von allen Geschöpfen allein eine regelmässige Ernte vornimmt, Jahr für Jahr den Boden eines Theils seines Erträgnisses beraubt. Durch diesen Eingriff wird natürlich der Boden, mit den ihm angehörigen Pflanzen und Pflanzenresten zusammen als ein Ganzes betrachtet, um die Bestandtheile der entnommenen Erntemassen ärmer, als er dem natürlichen Lauf der Dinge nach geblieben wäre; und, wenn wir diesen Verlust auf einzelne Factoren der Bodenfruchtbarkeit zu repartiren suchen, so müssen wir sagen, dass durch die Ernteentnahme die Kohlenstoff- und Stickstoffquelle für eine neue Vegetation, sowie einige physikalische Eigenschaften vermindert werden. und dass ein Gleiches für die Aschenbestandtheile unausbleiblich ist. — Allein hier findet ein beachtenswerther Unterschied statt. Kohlenstoff**) und Stickstoff sind dem ursprünglichen Boden als solchem nicht oder nur in sehr geringen Mengen eigenthümlich, und werden erst durch die Vegetation in demselben angehäuft, sie sind (freilich nur im weitesten Sinn des Worts) atmosphärische Nahrungsmittel der Pflanze.

*) Wir haben keine Ursache anzunehmen, dass der durch die Atmosphäre zugeführte, theilweise aus dem Weltmeer stammende mineralische Staub für diese Erwägung irgendwie in Betracht komme, noch dass die Fortführung löslicher Bestandtheile durch den Regen im entgegengesetzten Sinne eine erwähnenswerthe Rolle spiele.

**) Mit Ausnahme allerdings der kohlensauren Erden, die bei dieser Ueberlegung nicht in Betracht kommen.

Die Ansammlung dieser Stoffe im Boden ist daher absolut und hat keinerlei theoretische Begrenzung. Würde Alles einmal Niedergelegte immer wieder ausschliesslich zu neuer Produktion dienen, so würde die Bereicherung eine continuirliche sein. Von einem gewissen Punkte an lässt sich daher in Bezug auf diese Stoffe eine regelmässige Ernteentnahme denken, welche die Fruchtbarkeit des Bodens nicht beeinträchtigte; nemlich unter der (freilich für unsere Bewirthschaftungsmethoden nicht ganz zutreffenden) Voraussetzung, dass die Entnahme an jenen Stoffen durch die Ernte nicht grösser sei, als der periodische Zufluss an denselben aus der Atmosphäre.

Nicht so bei den Aschenbestandtheilen. — Für diese tritt durch den Akt der Entnahme von Ernten eine *absolute Verminderung* ein; es gibt für dieselben keine andere natürliche Quelle als der Boden, und ist dieser als Ganzes betrachtet durch jenen Akt an ihnen verarmt. Diese Sachlage kann zwar lange verhüllt bleiben, wenn der Boden ursprünglich reich an mineralischen Nährstoffen war und wenn eine Concentration dieser Bestandtheile in den obersten Bodenschichten durch tiefwurzelnde Gewächse veranlasst wird, — allein sie strebt unabänderlich einem und demselben Ziele zu, das ferne aber unverrückbar dasteht, der *völligen Verarmung des Bodens an den unentbehrlichen Aschenbestandtheilen.*

Auf diese bemerkenswerthe Verschiedenheit des Verhaltens der einzelnen in den Pflanzenresten enthaltenen Fruchtbarkeitsfactoren lässt sich der für die Praxis der Düngerwirthschaft gefährliche Satz Liebig's*) zurückführen, der in so vielen Variationen ausgesprochen wurde: Die atmosphärischen Bestandtheile des Bodens demselben nach der Ernte wiederzugeben, sei keine Sache des Ersatzes, sondern blos eine Massregel zur Erlangung höchster Bodenerträge, stickstoffhaltige Dünger wirkten nur *beschleunigend* auf die Erträgnisse und nicht auf deren Höhe im Ganzen ein, der Hauptvortheil bei ihrer Anwendung sei Zeitgewinn und Dergleichen mehr. Alle diese Sätze, welche einen so befremdenden Unterschied zwischen den Pflanzennahrungsmitteln verschiedenen Ursprungs auch hinsichtlich der Art ihrer Wirksamkeit zu machen sich bestreben, schmelzen bei näherer Besichtigung zu dem oben Ausgeführten zusammen. Dieselben werden erst in ihrer Form verständlich, wenn man sich durch fortgesetztes Wegführen von Pflanzensubstanz einen Boden gänzlich an Mineralstoffen verarmt denkt, wo ihm dann allerdings eine zwar spärliche aber doch nie versiegende Quelle von sogenannten atmosphärischen Nahrungsmittel zur Verfügung steht. Da aber diese Grenze in der praktischen Landwirthschaft niemals erreicht wird, so erhält jener Unterschied keine praktische Bedeutung und die Liebig'sche Ausdrucksweise ist als unklar und zweideutig zu vermeiden.

Wir können also behaupten, dass die einseitige Entnahme von Pflanzenprodukten für ein vom Menschen occupirtes Grundstück die Verminderung einer ganzen Reihe von Pflanzennährstoffen, ausserdem, wie aus den früher geschilderten weiteren Vortheilen der Einverleibung von Pflanzensubstanz ersichtlich ist, die Verschlechterung mancher Bodeneigenschaften veranlassen muss, dass somit ein langbebautes Grundstück, dem man nur Ernten entzieht, nothwendig unfruchtbarer werden muss,

*) Grundsätze der Agrik. chemie 1855, p. 57 u. a.; Die Chemie etc. 1862. Einleitung p. 37 u. a. vielen anderen Orten.

wenn es auch ganz von spezifischen klimatischen und Boden-Eigenschaften abhängig sein wird, ob dies Resultat nach einigen Ernten zu Tage tritt oder erst nach Jahrhunderten eines consequenten Anbaus zum Vorschein kommt. Es bedarf diese Folgerung aus der Theorie der Pflanzenernährung keiner weiteren Versicherung, sie ist gleichzeitig ein nur zu bekannter Erfahrungssatz einer jeden landwirthschaftlichen Praxis. Dabei lässt sich in allgemeiner Weise auch nicht die Frage beantworten. ob es in diesem Falle vorzüglich der Mangel an Aschenbestandtheilen, an stickstoffhaltiger Nahrung oder an physikalischen Bodeneigenschaften ist, welche zuerst eine Abnahme der Erträge bewirkt. Eine Antwort hierauf würde wieder je nach der vorhergehenden Constitution der Ackererde, je nach der Beschaffenheit der atmosphärischen Vegetationsbedingungen sehr verschieden gegeben werden müssen. Die *äusserste,* aber ganz und gar unverrückbare Grenze wird nur unter allen Umständen durch die beschränkte Menge von Aschenbestandtheilen, die in einem Grundstück vorhanden sind, gebildet, während die übrigen Fruchtbarkeitsbedingungen auch der Theorie nach niemals bis auf den letzten Rest aufgezehrt werden können.

Man gelangt nun zu einem ziemlich zutreffenden Begriff der Düngung, wenn man diejenigen landwirthschaftlichen Manipulationen als solche bezeichnet, die jenes so sich ergebende Defizit auszugleichen bestrebt sind, wenn man die Stoffzufuhr, die dem Acker einen Ersatz bieten soll, für die weggeführte Ernte, die dem Boden diejenigen Fruchtbarkeitsbedingungen erhalten soll, die nach dem natürlichen Lauf der Dinge in der Form von ungeernteten Pflanzenresten demselben verblieben wären, als Düngung bezeichnet. Eine solche Begriffsbestimmung ist in der That für viele Fälle zutreffend, und doch liegt in derselben keine ganz scharfe Definition der Düngung, und sie birgt sogar die Gefahr in sich, zu jener engen und einseitigen Ersatzlehre zu verleiten, die so lange die gesunden Principien einer naturgemässen Düngerwirthschaft befehdet hat.

Wir brauchen uns in der That nur ein wenig in der praktischen Landwirthschaft umzusehen, um zu erkennen, dass Düngung und Ersatz des Entnommenen durchaus nicht identisch sind, wenn sie auch manchmal zusammenfallen, da natürlich die ihrer producirten Pflanzenmassen beraubten Felder der einfachen Wahrscheinlichkeit nach vorzugsweise häufig einen Mangel an der in diesen Massen enthaltenen Stoffen empfinden werden. Wir brauchen uns nur daran zu erinnern, dass viele ganz unkultivirte Strecken, von den bis dahin niemals eine Ernte entnommen wurde, in intensiv bewirthschafteten Ländern gar nicht selten durch eine der Ernte vorausgehende Düngung in Kultur gesetzt werden, dass wir eine Reihe von Düngemitteln verwenden, die wie Gyps und Mergel ihrer natürlichen Zusammensetzung nach den entnommenen Pflanzenprodukten so unähnlich sind, dass sie entfernt nicht als ein Surrogat für dieselben angesehen werden dürfen; ich brauche nur noch hinzuzusetzen, dass — was sich nicht unmittelbar durch Anschauung erkennen lässt — die in der landwirthschaftlichen Praxis üblichen Düngungen in ihrer Menge und Zusammensetzung in der Regel der entnommenen Ernte sehr unähnlich sind, und wir werden erkennen, dass die versuchte Begriffsbestimmung, so zweckmässig sie war, uns auf die Nothwendigkeit der Düngung im Allgemeinen hinzuweisen, im Einzelnen durchaus unrichtig ist.

Als *Düngung* wird vielmehr zu bezeichnen sein, *eine jede Stoffzufuhr auf*

landwirthschaftlich benutzte Grundstücke in der Absicht, jetzt oder in Zukunft, *den Ertrag derselben zu steigern;* als *Dünger jeder Stoff, der in dieser Absicht Verwendung findet.*

Nachdem wir so zu dem Begriffe einer Düngung gelangt sind, kehren wir, um eine richtige Vorstellung von der Möglichkeit einer rein empirischen Auffindung der in der Landwirthschaft gebräuchlichen Düngemittel zu erlangen, dennoch zu dem zuerst eingeschlagenen Wege zurück, die Nützlichkeit des Düngers zuerst von dem Standpunkt des Ersatzes aus zu betrachten, denn eben diese sogenannten natürlichen Dünger haben in der Praxis fast einzig desshalb eine Bedeutung erlangt, weil sie einen Ersatz für das durch die Ernten Entnommenen zu bieten vermögen. Man darf eben trotz der gegebenen Begriffsbestimmung und, wenn es auch häufig wirthschaftlich geboten erscheint, mehr zu geben als man genommen hat oder weniger, vielleicht auch ganz andere Stoffe zu geben als man genommen hat, nicht aus dem Auge verlieren, dass das fortdauernde Nehmen ohne einen äquivalenten Ersatz schliesslich unter allen Umständen zur Bodenverarmung zur absoluten Unfruchtbarkeit führen muss, welche in allen Fällen unwirthschaftlich ist, und dass daher diejenigen Düngungsmethoden, welche einen Ersatz bieten, stets, aber namentlich im Anfang eine hervorragende Rolle spielen werden.

Wir werden diesen Weg verfolgend uns noch einmal eingehender die Frage zu beantworten suchen, was durch die regelmässige Vornahme von Ernten *an einzelnen einfachen Fruchtbarkeitsbedingungen* in dem Boden *geändert wird*, und dabei vorzugsweise den Gesichtspunkt im Auge zu behalten streben, welche jener Aenderungen für die gesammte Produktionsfähigkeit eines Grundstücks von entscheidender Bedeutung ist. Zunächst werden wir dabei die einzelnen Nährstoffe, welche eine verwesende Pflanzenmasse einer neuen Generation zu bieten vermag, in dieser Hinsicht zu prüfen haben. Lassen wir also die einzelnen Stoffe, deren die Pflanze zu ihrem Gedeihen bedarf, wieder einmal und mit Berücksichtigung dieser Verhältnisse vor uns Revue passiren.

Unter diesen Stoffen können *Sauerstoff* und *Wasser* ganz ausser Acht gelassen werden; der erstere wird unter keinerlei Umständen von einer verwesenden Pflanzenmasse erzeugt, das andere wird in so grossen Mengen von der Pflanze verbraucht, dass die durch Verwesung gelieferten Mengen nicht in Betracht kommen können. Ein indirekter Einfluss der Pflanzenreste im Boden auf den Wasserreichthum desselben und auf dessen Fähigkeit, die kommende Vegetation mit Wasser zu versorgen, besteht allerdings in hohem Masse, ein Einfluss indessen, der selbstverständlich bei den physikalischen Eigenschaften eines an vegetabilischen Resten reichen Bodens Erledigung finden muss.

Die *Kohlensäure* ist ein Pflanzennährstoff, der zwar ganz und gar aus der Atmosphäre genommen werden kann, dessen Vorhandensein im Boden das Pflanzenwachsthum aber erheblich unterstützt*). Es kommen hierbei zwar auch neben direkt nährenden Wirkungen indirekt nützliche Wirkungen dieser Kohlensäure auf die Ackererde, bestehend in der Beschleunigung des Verwitterungsprocesses, Ueberführ-

---

*) Vergl. die neunzehnte Vorlesung p. 311.

ung von Nährstoffen in die Bodenlösung*) u. s. w. in Betracht; allein es ist für unsern Zweck nicht nöthig, diese Wirkungen streng auseinanderzuhalten. — Bei Verringerung der Pflanzenreste im Boden durch regelmässige Vornahme von Ernten wird also offenbar eine wichtige Fruchtbarkeitsbedingung auf ein Minimum reducirt, und hierin liegt ohne alle Widerrede häufig einer der Gründe, der die Abnahme der Erträge auf einem so behandelten Grundstück veranlasst. Daraus folgt, dass bei der natürlichen Auffindung von Düngemitteln vorzugsweise auch solche in's Auge fallen mussten, die in Bezug auf Kohlensäureentwickelung Etwas Aehnliches zu leisten vermochten wir die weggenommenen Pflanzensubstanzen. Gleichzeitig ist bei der Betrachtung darauf hinzuweisen, dass es sich der Theorie nach bei einem solchen Ersatz nicht gerade um die gleiche Grösse der Kohlensäureentwickelung handeln kann, da eine Kohlensäurequelle in der Erde für Pflanzen auf verschiedenem Boden und in verschiedenem Klima von sehr verschiedener Nützlichkeit sein muss. Wir werden aus diesem letzteren Gesichtspunkt später Nutzen ziehen.

Salpetersäure, respective Ammoniak ist ein Pflanzennährstoff, der in einem von Pflanzenresten entblössten Boden in so geringer Menge vorhanden ist und von der Atmosphäre während der Dauer einer Vegetationsperiode in so geringen Mengen geliefert wird, dass eine Vegetation in ihrem Bedarf an diesem Stoffe wesentlich auf diejenigen Mengen angewiesen ist, die durch Verwesung von stickstoffhaltigen organischen Substanzen im Boden in Freiheit gesetzt werden**). Eine regelmässige Beraubung eines Grundstücks an den auf ihm producirten Pflanzenmassen ist desshalb in Bezug auf die Stickstoffernährung der nun gepflanzten Gewächse beinahe gleichbedeutend mit einem Anbau derselben auf einem bis dahin Vegetations-leeren Boden. Wir können desshalb mit voller Entschiedenheit aussprechen, dass die Erträge auf einem Boden, dem seine Produkte continuirlich ohne entsprechenden Wiederersatz abgenommen werden, auch desshalb zurückgehen müssen, weil in den auf ihm wachsenden Pflanzen eine allzu kärgliche Stickstoffnahrung zu Gebote steht, ohne hiebei freilich zu verkennen, dass verschiedene Gewächse wegen ihres ausserordentlich verschiedenen Vermögens, den atmosphärischen Stickstoff auszunützen, sich jener Verminderung der Stickstoffnahrung im Boden gegenüber sehr verschieden empfindlich erweisen werden, und dass auch hier klimatische Eigenthümlichkeiten u. s. w. in Betracht kommen.

---

*) Vergl. die siebenundzwanzigste Vorlesung p. 56, 57.

**) Es ist desshalb ein ganz unrichtiger Grundsatz, den H. Fleck (Bolley: Chem. Technologie II, 2. p. 5) auf die Autorität Liebig's fussend, vertritt, wenn er sagt:

> „Je mehr die Ansicht Liebig's sich bestätigt, nach welcher das atmosphärische Ammoniak als die vorzüglichste Quelle des vegetabilischen und indirect animalischen Stickstoffs erachtet wird, desto gerechtfertigter erscheint es, die animalischen Proteïnstoffe so weit als möglich von dem Felde zurückzuhalten, desto willkommener erscheinen alle Vorschläge, durch welche deren Verwerthung und vollständige Zersetzung zu Gunsten der Industrie ermöglicht wird, da ja die endlichen Zersetzungsproducte derselben in ihrer letzten Metamorphose als Gase der Atmosphäre zurückgegeben und, von dieser aus, der Pflanze zugänglich werden."

Vergl. auch die Sätze gerade vorher.

Diese Ausführungen hängen, wie leicht ersichtlich, mit schon genugsam von uns bekämpften Anschauungen zusammen.

Diejenigen *Aschenbestandtheile* der weggeführten Ernten, welche zugleich Nährstoffe sind, können in vielfacher Hinsicht gemeinschaftlich abgehandelt werden. Sie Alle erleiden durch die Wegnahme der geernteten Pflanzensubstanz eine absolute Verminderung. Allein hier sind schon jetzt wesentliche Unterschiede in Betracht zu ziehen, da die einzelnen Aschenbestandtheile in sehr verschiedenen Mengen in der Ackererde vorhanden zu sein pflegen und ausserdem wiederum in sehr verschiedenen und von jenen unabhängigen Mengen in die Zusammensetzung der geernteten Bestandtheile eingehen. So kommt es, dass vorzüglich nur für einige Aschenbestandtheile jener Entzug fühlbar wird, und dass diese einseitige Verminderung schon eine Abnahme der Bodenerträgnisse veranlasst, auch wenn viele andere mineralische Nährstoffe noch in übergrossen Mengen vorhanden sind.

Man muss, um Dieses noch deutlicher zu verstehen, im Auge behalten, dass sich zwar das Bedürfniss aller Gewächse auf dem Wege der natürlichen Züchtung an die gewöhnliche Zusammensetzung der Ackererde gewisser Massen angepasst hat*), wie ja alle Organismen auf diesem Wege ihre Ansprüche an die realen gegebenen Verhältnisse, so weit Dies möglich, anzuschliessen und umzubilden bestrebt sind, dass ferner in der Zusammensetzung der Bodenarten, trotz ihrer auffallenden Verschiedenheiten, dem gemeinsamen Ursprung entsprechend eine gewisse Uebereinstimmung besteht, dass aber nun nicht, wie man vielleicht denken sollte, in Folge der Wegnahme der producirten Pflanzensubstanz eine ganz gleichmässige Aenderung des Gehalts des Boden an den mineralischen Nährstoffen eintreten kann, weil eben einzelne dieser Stoffe ganz vorzugsweise befähigt sind, rasch in grossen Mengen in die Pflanzen überzutreten, und dass für diese bei Wegnahme der Erntemasse eine ganz besonders grosse Beraubung, bei deren Verbleib eine ganz besonders grosse Bereicherung an diesen Stoffen in verfügbarer Form eintreten muss. Wenn man dies Verhalten beachtet, so kann Einem nicht verborgen bleiben, dass gerade, weil sich die Pflanze in ihrem Bedarf einiger Massen nach den natürlichen Verhältnissen, d. h. also nach den Verhältnissen eines an verwesenden Pflanzenstoffen reichen und nicht eines noch unberührten Bodens gerichtet hat, die Wegnahme dieser Stoffe für einzelne der Nährstoffe, welche in geringer Verbreitung im ursprünglichen Boden vorhanden sind, aber bei der Stoffaufnahme begünstigt werden, sich empfindlicher geltend machen muss.

Die *Schwefelsäure* ist, um nun zu den einzelnen mineralischen Nährstoffen überzugehen, ein Stoff, der in den meisten Böden nur in sehr geringen Mengen vorhanden ist. — Ich verweise in Bezug auf diese wie auf die später aufzustellenden Behauptungen unter Anderem auf die mitgetheilten Gesteinsanalysen. – Allein der Elementarbestandtheil, dessen Träger die Schwefelsäure ist, geht auch nur in sehr geringen Mengen in die Zusammensetzung der Pflanzen ein**), so dass der Mangel an diesem Bestandtheile doch nicht leicht fühlbar wird.

---

*) Obgleich man noch keine künstliche Züchtung der Gewächse in Betreff ihres Nährstoffbedarfs versucht oder eine natürliche beobachtet hat. — Indessen wäre hierdurch ein zwar schwieriger, aber für die Theorie der physiologischen Bedeutung der Nährstoffe viel Aufschluss versprechender Weg angedeutet.

**) Ich verweise hier wie bei den gleich folgenden Parallelstellen auf die in der siebzehnten Vorlesung p. 284—287 mitgetheilten Aschenanalysen.

Anders ist es mit der *Phosphorsäure.* Auch diese kommt nur in geringen Mengen im Boden vor, geht aber in weit grösseren Verhältnissen in die Zusammensetzung der Pflanzen ein als die Schwefelsäure, zeigt also in Bezug auf schleunige Ausraubung des Bodens das möglichst ungünstige Verhältniss. In der That ist es dieselbe unter den Aschenbestandtheilen für die gewöhnlichen Verhältnisse des natürlichen Bodens und die üblichen Kulturen zuerst, in Bezug auf die sich namentlich nach den praktischen Erfahrungen bei ungenügendem Ersatz ein Mangel fühlbar macht, und in dem Phosphorverlust ist unter den gegebenen Verhältnissen eine weitere Ursache zu sehen, warum die Ernten ohne Ersatzleistung häufig in verhältnissmässig kurzer Zeit die Fruchtbarkeit eines Bodens beeinträchtigen.

Es ist dann für diesen Nährstoff wie für jeden andern noch besonders auf den Umstand aufmerksam zu machen, dass diejenige Menge desselben, die wirklich in der producirten Pflanzenmasse vorhanden ist, nicht genügt, um als Bestandtheil des Bodens die Produktion derselben zu ermöglichen, sondern, dass im Boden eine weit grössere Menge in dem Zustand, in dem er für die betreffende Pflanzenwurzel zugänglich ist, vorausgesetzt wird, um jenen Erfolg sicher zu stellen. Es ergibt sich dieses Verhältniss einfach aus den Gesetzen der Stoffaufnahme. Wir haben bei Betrachtung dieser Gesetzmässigkeiten gesehen, dass es theilweise der direkten Berührung der feinsten Wurzelfasern mit den ungelösten Stofftheilchen bedarf*), um diese Stoffe in den Pflanzenorganismus einzuführen, dass namentlich bei der Phosphorsäure diese Form der Stoffaufnahme eine hervorragende Rolle spielt. Aus dieser Sachlage folgt nun ohne Weiteres, dass, da nur eine gewisse beschränkte Anzahl von Bodentheilchen mit den Wurzelspitzen in Berührung treten kann, nicht Alles Verfügbare in einer Vegetationsperiode aufgenommen werden kann, und dass es von der Art der Bewurzelung abhängig sein muss, wie viel von einer gegebenen Menge fester Nahrungsstoffe aufgenommen werden kann, oder welche Menge dieser Stoffe mindestens erforderlich ist, damit nicht durch den entstehenden Mangel das Pflanzenwachsthum Schaden leidet. Dieses Minimum hat im Allgemeinen ganz und gar Nichts mit der Menge des in der producirten Pflanzenmasse enthaltenen Stoffs zu thun und kann bei verschiedenen Pflanzen je nach dem Bewurzelungssystem in sehr verschiedenem Verhältniss zu dieser stehen. Ich erwähne Dies nebenbei, um gleich von vorneherein vor Irrthümern in dieser Richtung zu bewahren.

Das *Kali* ist durchschnittlich in sehr viel beträchtlicheren Mengen im Boden vorhanden als die Phosphorsäure**) und Schwefelsäure, wird aber demselben auch in sehr bedeutenden Mengen, durchschnittlich bedeutenderen als die Phosphorsäure, durch die Pflanzen entzogen. Häufig ist dasselbe in den Böden (in allen denen, in welchen sich noch unverwitterte Reste der Massengesteine finden) in zur Zeit unzugänglicher Form vorhanden, so dass leichter durch die Entnahme von Ernten ein vorübergehender Mangel entstehen wird, der sich aber meistens nach einer Zeit der Ruhe, namentlich, wenn gleichzeitig der Verwitterungsprozess befördert wird, wieder ausgleichen wird, als bei der Phosphorsäure oder gar beim Stickstoff. Uebrigens ist es für Kali, wie namentlich auch für den Kalk, durchaus vom Uebel, zu generalisiren,

*) Und auch, wo Dies nicht nöthig ist, folgt Etwas Aehnliches.

**). Ueber Phosphorsäure- und Kaligehalt der verschiedensten Gebirgsarten und Fossilien vergl. die Zusammenstellung Stöckhardt's: Jahresber. f. Agrik. chemie. 1862—63. p. 203.

da in Bezug auf diese Stoffe verschiedene Bodenarten die grössten Unterschiede zeigen. Bei Alledem ist das Kali der Stoff, für den sich (wenn auch nicht in demselben Grade) ohne allen Zweifel nächst dem Stickstoff und der Phosphorsäure eine fortgesetzte Wegführung der producirten Pflanzenmasse ohne genügenden Ersatz als von den bedenklichsten Folgen begleitet zeigt, und dessen Unentbehrlichkeit für die Gewächse eine weitere Ursache dafür ist, dass die fortdauernde Ernte ohne Düngung nach kürzerer oder längerer Zeit eine Abnahme der Ertragsfähigkeit des Bodens mit sich bringt.

Die übrigen Nährstoffe*) *Kalk*, *Magnesia*, *Eisen* können wir mit einigen Worten abthun. Dieselben sind durchschnittlich in den Ackererden in weit grösserer Menge und zwar in verfügbarer Form vorhanden, als die Pflanzen von ihnen in sehr vielen Ernten gebrauchen. Der Gehalt der Ackererden an Kalk und Magnesia ist freilich ausserordentlich verschieden. In Kalk- und Dolomitböden besteht die Hauptmasse des Bodens aus diesen Stoffen, in andern Böden treten dieselben bis auf Bruchtheile von Procenten in den Hintergrund. Allein selten würde sich auch bei länger fortgesetzter Entnahme ohne Ersatz ein wirklicher Mangel an diesen Stoffen herausstellen, ohne dass längst der Mangel an Stickstoff, Phosphorsäure und selbst Kali sich geltend gemacht haben würde, und, wo ein solcher Boden dringend Kalkzufuhr erheischt, da ist es weniger die direkte Wirkung des Kalks als Nährstoff, als die indirekt nützliche Wirkung desselben in der Ackererde, von der wir noch ausführlich zu sprechen haben werden**).

Die regelmässige Fortführung der producirten Pflanzenmasse wirkt aber noch auf eine andere Weise, als durch Entzug der wichtigsten Nährstoffe, vermindernd auf die Ertragsfähigkeit eines Grundstücks ein, nemlich durch Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften desselben. Jene Pflanzenmasse repräsentirt nicht blos eine gewisse Summe von Nährstoffen, die in derselben vorhanden sind, oder sich aus derselben entwickeln, sie ist ausserdem der Sitz von ganz bestimmten äusserlichen Eigenschaften, welche sie durch ihre Einverleibung in die Ackererde derselben überträgt. Wir erinnern uns deutlich, was in den Vorlesungen über die physikalischen Eigenschaften des Bodens über die Bedeutung verwesender organischer Ueberreste für dieselben gesagt wurde***). Die dunkel gefärbten humosen Stoffe erhöhen ausserordentlich die Erwärmungsfähigkeit des Bodens und damit dessen Ertragsfähigkeit in kälteren Klimaten; die gleichen Stoffe vermehren die wasserfassende Kraft des Bodens und damit dessen Ertragsfähigkeit in den trockenen Lagen und Klimaten etc. Aus diesen zwei Gesichtspunkten schon erhellt die Bedeutung pflanzlicher Ueberreste, auch abgesehen von deren direkten Nährfähigkeit und den übrigen physikalischen Eigenthümlichkeiten derselben, und es liegt somit eine weitere Ursache zu Tage, warum die Ernte ohne Ersatz nach und nach ein Zurückgehen in den Erträgnissen veranlassen muss.

Dabei ist freilich nicht ausser Augen zu lassen, dass die Erhaltung nützlicher physikalischer Eigenschaften nicht die Einverleibung der ganzen producirten Pflan-

*) Die sonstigen für manche Pflanzen noch etwa unentbehrlichen Nährstoffe bedürfen hier keiner Berücksichtigung.

**) Vergl. die achtunddreissigste Vorlesung.

***) Vergl. die dreissigste und einunddreissigste Vorlesung, namentlich p. 117 und 139.

zenmasse erheischt. In dieser Beziehung stehen überhaupt, wie wir schon genugsam hervorgehoben haben, die Aschenbestandtheile ganz vereinzelt da. Es kann im Gegentheil gesagt werden, dass vorzugsweise in feuchteren Länderstrichen eine fortwährende Anhäufung der ganzen producirten organischen Substanz gar nicht günstig wirken würde, da dort in vielen Fällen die Bedingungen zu einer hinreichend schnellen Verwesung fehlen und durch allzugrosse Anhäufung von humosen Substanzen Böden von allzu grosser wasserfassender Kraft mit einer Reihe von Uebelständen gebildet werden würden*).

Alles in Allem genommen, vermögen wir aber nun deutlich einzusehen, warum eine fortdauernde Wegführung der producirten Pflanzensubstanz auf die künftige Ertragsfähigkeit eines Grundstücks schädigend einwirken muss. Es werden je nach der Beschaffenheit des Bodens, nach den Ansprüchen der angebauten Kulturpflanzen, nach klimatischen Verhältnissen sehr verschiedene Dinge sein, die in erster Linie das Ertragsvermögen beeinträchtigen. Eine Fruchtbarkeitsbedingung aber erleidet unter allen Umständen eine unabwendbare, wenn auch langsam fortschreitende und oft erst spät zu Tage tretende Verminderung — die wirksamen Aschenbestandtheile.

Soweit in unsern Betrachtungen vorgerückt, können wir uns nun mit Aussicht auf Erfolg die Frage stellen: *welche Substanzen mussten es wohl sein, auf welche die Blicke der Menschen naturgemäss fallen mussten, als es sich um eine Ertragssteigerung der durch fortgesetzte Ernteentnahme ausgeraubten Felder handelte?* — Es bedarf keines besonderen Hinweises, dass die Erkenntniss, welche den Menschen an allen Orten und zu allen Zeiten zu der Anwendung der natürlichen Düngemittel geführt hat, eine rein empirische gewesen ist. — Wie könnte dem auch anders sein? Der Ackerbau zu dessen Grundlagen fast an allen Orten**) eine geordnete Düngerwirthschaft gehört, ist nach unsern kulturgeschichtlichen Erfahrungen die erste Grundlage einer höheren Kultur***) und diese wieder die unabänderliche Voraussetzung zu einer wissenschaftlich theoretischen Erkenntniss. Eine klare naturwissenschaftliche Einsicht in die physischen Verhältnisse des Pflanzenlebens, in den Nährstoffbedarf dieser Organismen und eine Theorie der Düngung wird desshalb ebensowenig der praktischen Manipulation der Düngung vorausgehen können, als ein einzelnes Individuum mit dem Verdauen warten kann, bis man ihm die Theorie dieses Vorgangs und die Principien einer rationellen Verdauung beigebracht hat, weil auch hier die physische Entwickelung des Individiums der intellektuellen vorausgehen muss, und der Vollzug jenes physiologischen Aktes bei der ersteren eine Rolle spielt, die Theorie desselben aber erst durch die letztere gegeben werden kann.

Wir sehen in Folge dessen bei allen ackerbautreibenden Völkern, bei denen die äussern Umstände es erheischen, ganz unabhängig von ihren naturwissenschaftlichen Kenntnissen Düngungsmethoden auf rein empirischem Wege ausgebildet, und aus dieser Sachlage geht nun weiter hervor, dass es verhältnissmässig leicht gewesen ist,

*) Von denen in der 38. Vorlesung noch ausführlicher die Rede sein wird.

**) Nicht auf Ueberschwemmungsgebieten von Flüssen, die reich an befruchtendem Schlamme sind und auf Böden von ganz hervorragender natürlicher Fruchtbarkeit. Siehe später die siebenunddreissigste und neununddreissigste Vorlesung.

***) Vergl. Roscher's Nationalökonomik des Ackerbaues. 1865. p. 49.

auf dem Weg der unmittelbaren Erfahrung Düngestoffe als solche kennen zu lernen und überall in den gleichen Stoffen die Düngebefähigung zu erkennen*).

Die Stoffe, auf welche vielmehr die Blicke der Menschen *naturgemäss* fallen mussten, sind die *Excremente der Hausthiere*, deren Wirksamkeit als Düngemittel wir heute theoretisch abzuleiten befähigt sind; — naturgemäss einmal desshalb, weil voraussichtlich der Ackerbau kulturgeschichtlich aus dem Hirtenleben sich herausentwickelt**) hat, und die Viehhaltung fast unter allen Umständen dann neben dem reinen Ackerbau durch alle Kulturperioden fort und fortbetrieben wird***), mithin jedem ackerbautreibenden Volke die thierischen Excremente sehr bekannte Stoffe sind; — naturgemäss zweitens desshalb, weil die Wirkung dieser Stoffe auf natürlichen Weideplätzen so in die Augen fallend ist, dass sie selbst einem ungeübten Blicke und einem wenig entwickelten Reflexionsvermögen nicht entgehen kann. Wir wissen, wenn wir nun an die Hauptzüge des thierischen Stoffwechsels uns erinnern, dass die thierischen Excremente in Bezug auf ihr Verhalten als Pflanzennahrungsmittel sehr ähnlich zusammengesetzt

---

*) Als physisch am naturgemässesten, wenn auch in ihrer wirthschaftlichen Zweckmässigkeit Anfangs kaum begreiflich, erscheinen diejenigen Düngungsmethoden, wo die gewachsene Pflanzensubstanz durch Unterpflügen dem Boden einverleibt wird — die Gründüngung. Durch diese Manipulation, durch die freilich der wirthschaftliche Zweck des Pflanzenbaues verfehlt zu werden scheint, wird offenbar Dasselbe erreicht, was die Natur an allen von Menschenhand unberührten mit Pflanzen bestandenen Flächen thut, es werden diejenigen Verhältnisse hergestellt, unter denen und nach denen sich erst das Bedürfniss der Gewächse gebildet hat.

Die wirthschaftliche Möglichkeit einer derartigen Kulturmethode erhellt nun einfach daraus, dass es auf diese Weise gelingt, das Erträgniss einer (der untergepflügten) nachfolgenden Pflanze der Art zu steigern, dass sich dadurch unter gewissen Verhältnissen der Aufwand an Saatgut, Arbeit und der Verlust der Bodenrente bezahlt macht. Daraus ergibt sich aber zugleich, dass die Gründüngung naturnothwendig nicht die einzige Düngungsmethode sein kann; denn entweder wird der wirthschaftliche Zweck der Pflanzenproduction für Thier und Mensch nicht erreicht, oder unsere angestellte Betrachtung über die nothwendige Abnahme der Bodenfruchtbarkeit bleibt bestehen, die dann doch zur Aufsuchung anderer Düngemittel zwingt.

Der eigentliche Beweis für diesen Satz liegt freilich auf wirthschaftlichem Gebiete, denn es wäre ja (was eben nicht beachtet wurde) denkbar, dass lange Perioden hindurch Raubbau getrieben würde bei alleiniger Gründüngung, wie Dies ja bei vielen anderen Düngungsmethoden thatsächlich geschieht. Für unsern Zweck hier genügt die Bemerkung, dass die methodische Gründüngung eine viel grössere Menge von Arbeit voraussetzt, als die Düngung durch Weidegang, Pferch und dergl. und desshalb weit intensiveren Perioden angehört als diese, wiewohl sie in den intensivsten Perioden wieder verschwindet.

In naturwissenschaftlicher Beziehung braucht Nichts Weiteres mehr über Gründüngung gesagt zu werden, da ihr Wesen mit dem schon ausführlich geschilderten Nutzen der Einverleibung von Pflanzensubstanz in den Boden zusammenfällt. Daraus ergibt sich zugleich, dass massig sich entwickelnde, tiefwurzelnde, nicht zu anspruchsvolle und viel Stickstoff assimilirende Pflanzen, deren Samen wohlfeil ist, wie z. B. die Lupinen sich besonders zur Gründüngung eignen.

**) Vergl. Roscher: A. a. O. p. 48 u. f.

***) Ausnahmen, wie es scheint nur, wo ein warmes Klima die reine Pflanzenkost empfiehlt, und wo gleichzeitig eine grosse Uebervölkerung eine möglichst billige Ernährung erfordert, also erst in späteren Perioden.

sind wie die thierische Nahrung, und verstehen so ohne Weiteres, warum dieselben im Stande sein müssen, Ersatz für jene dem Boden entnommenen pflanzlichen Stoffe, welche ja eben zur thierischen Ernährung dienen, zu leisten.

Allein unsere Aufgabe wird es nothwendig sein, die Aenderung in Zusammensetzung und Eigenschaften, welche eine Pflanzenmasse beim Durchgang durch den thierischen Organismus erfährt, einer genaueren Prüfung zu unterwerfen, weil wir nur so im Stande sind, den Unterschied zu verstehen, der zwischen einer Düngung mit der Ernte selbst und einer Düngung mit den aus ihr hervorgegangenen thierischen Excrementen besteht, und auf welchen sich gewisse Folgerungen für das Wesen der Stallmistwirthschaft gründen.

Das Gesammtresultat des thierischen Stoffwechsels in Bezug auf die in den Thierorganismus eintretenden und aus demselben austretenden Substanzen lässt sich mit einigen Worten abmachen, wenn man, wie wir Dies vorerst thun wollen, einstweilen darauf verzichtet, die Thatsache des Stoffansatzes im Thierkörper, also der gelegentlichen Lieferung anderer Substanzen, die nicht als Dünger Verwendung finden, d. i. also Fleisch- und Fettansatz, Milch- und Wollproduktion durch das Thier zu berücksichtigen. Es lässt sich alsdann sagen, dass das als Futter Eintretende von dem als Excremente Austretenden sich unterscheidet durch einen beträchtlichen Verlust an organischer Substanz, welche durch den Athmungsprocess in der thierischen Lunge zerstört wird, dass Stickstoff und Aschenbestandtheile quantitativ unverändert, aber in wesentlich anderer Form in den Excrementen vorgefunden werden.

Der Verlust an organischer Substanz beträgt bei den gewöhnlichen Fütterungsmethoden unserer landwirthschaftlichen Hausthiere ungefähr gerade die Hälfte der Gesammtmenge der aufgenommenen Futterstoffe; der Kohlenstoff dieser Hälfte entweicht vollständig zu Kohlensäure verbrannt, also genau in derselben Form, aus der die organische Substanz früher in der chlorophyllhaltigen Zelle Entstehung genommen hatte. — Der Kreislauf des Kohlenstoffs in der Natur ist damit vollendet. — Die nicht verbrannte organische Substanz befindet sich wesentlich im Darmkothe, besteht also fast ausschliesslich in unverdauten Stoffen, die gar nicht in das eigentlich organisch Innere des Thierkörpers eingedrungen waren und den Kreislauf im Blute durch die Lunge nicht mitgemacht haben. Der Harn, der fast ausschliesslich die nicht gasförmig ausgeschiedenen Endprodukte des Stoffwechsels enthält, ist sehr arm an organischen Substanzen (wenigstens im physiologischen Sinn).

Die stickstoffhaltige organische Substanz der Futterstoffe erleidet, so weit sie verdaulich ist und in den Stoffwechsel mit eingeht, in Bezug auf ihren Kohlenstoffgehalt einen ganz ähnlichen Zerfall wie die stickstofffreie organische Substanz, und der constatirte Kohlenstoffverlust ist z. Th. eben auf die Verbrennung dieser Stoffe zu setzen. Der Stickstoff spaltet sich dabei aber nicht, wie Dies bei Verbrennungen bei hoher Temperatur ausserhalb des thierischen Körpers theilweise geschieht, in Form von freiem Stickstoff ab, sondern in Form von kohlenstoffhaltigen Stoffen, die zwar eben noch als organische Substanzen bezeichnet werden müssen, den anorganischen aber ausserordentlich nahe stehen, — als Harnstoff und einige ähnlich zusammengesetzte Körper. Dieselben können für unsere Zwecke vorerst als Ammoniakverbindungen angesehen werden, da sie diesen nicht blos hinsichtlich der chemischen

Constitution ähnlich sind, sondern auch bei ihrer unter natürlichen Verhältnissen stattfindenden Zersetzung äusserst rasch Ammoniak abzugeben pflegen.

Man wird beachten, dass dieses Verhalten des Stickstoffs der organischen Futterstoffe, wie aller thierischen Nahrungsmittel überhaupt, von entscheidender Wichtigkeit für die Wirksamkeit der thierischen Excremente als Dünger ist. Bei dem Durchgang durch den thierischen Organismus wird kein Stickstoff in Freiheit gesetzt; derjenige, welcher nicht dem Stoffwechsel anheim fällt, bleibt in derselben Form, die ihm schon vorher eigenthümlich war, und die ganze Menge, die dem Stoffwechsel dient, gelangt in eine Form, in der sie viel schneller für eine neue Vegetation zur Verfügung steht. Dieser Stickstoff wird für die Pflanzenernährung gleichsam aufgeschlossen *).

Ganz etwas Aehnliches findet für die Aschenbestandtheile statt. Auch diese gelangen mit den organischen Substanzen, in denen sie enthalten sind, theilweise in den Kreislauf, theilweise werden sie durch den Darm in ziemlich unveränderter Form wieder ausgeschieden. Nur mit den ersteren haben wir es hier zu thun. Auch von diesen Aschenbestandtheilen lässt sich behaupten, dass sie, nachdem die organische Substanz, der sie angehörten, grossentheils in die genannten Endprodukte zerfallen ist, in einer für die Pflanzen verfügbareren Form ausgeschieden werden, als sie in der Pflanzensubstanz, die den Thieren zur Ernährung verabreicht wurde, ursprünglich vorhanden gewesen sind. Die mannigfachen Krystallisationen von Mineralsalzen aus dem Harne belegen diese Anschauung zur Genüge.

Alles in Allem genommen, werden wir also etwa folgende Veränderungen der Futterstoffe beim Passiren durch den thierischen Körper constatiren können. Die organische Substanz ist in den Excrementen auf etwa die Hälfte reducirt. Diese werden also hinsichtlich der Kohlensäureentwickelung, der Fähigkeit humusartige Stoffe im Boden anzuhäufen, also auch hinsichtlich aller der physikalischen Eigenschaften, die jene Anhäufung zur Folge hat, weniger zu leisten im Stande sein, als wenn jene Futterstoffe ungeerntet und ungefüttert als solche dem Boden einverleibt worden wären. Stickstoff und Aschenbestandtheile sind, obige Voraussetzungen wiederholt, in ungeänderter Menge, aber in tauglicherer chemischer Form in den Excrementen enthalten.

Man wird mithin für die Wirksamkeit der thierischen Excremente im Vergleich zu der Wirksamkeit der Futterstoffe, aus denen sie hervorgegangen sind, als Düngemittel im Allgemeinen aussprechen können, dass, da nur Kohlensäureentwickelung und Humusbildung bei ihnen verhältnissmässig gering ist, diese aber ohne Schaden für die Vegetation Etwas herabgedrückt werden können, und in Bezug auf die anderen Fruchtbarkeitsfaktoren eine Verbesserung (der Wirksamkeit der geernteten Pflanzensubstanz gegenüber) eingetreten ist, im Ganzen die Düngung mit den Excrementen weit vortheilhafter auf das Gedeihen der kommenden Vegetation wirken wird, als der Verbleib der ungeernteten Pflanzenmassen auf den Feldern. Eine derartige Beantwortung kann der Natur der Sache nach nicht für einen jeden einzel-

*) Sehr deutlich zeigt sich das geschilderte Verhalten in der landwirthschaftlich bekannten Thatsache, dass Gründüngung niemals Lagergetreide erzeugt, wohl aber Stallmistdüngung, weil in diesem Falle der Stickstoff zu rasch wirkt.

nen Fall strenge richtig sein, da in verschiedenen Böden und für verschiedene Kulturen sehr verschiedene Fruchtbarkeitsfaktoren in zu geringem Verhältniss für ein möglichst günstiges Zusammenwirken vorhanden sein können. So sind auch an organischen Stoffen sehr arme Böden denkbar, welche ihrer physikalischen Beschaffenheit nach einer Einverleibung grosser Massen organischer Substanzen bedürftig sind, und für die eine Düngung mit der Pflanzensubstanz selbst vortheilhafter gewesen wäre. Allein solche Fälle können wohl als eine Ausnahme betrachtet werden, und im Allgemeinen wird die gegebene Beantwortung die richtige sein. Es ist noch besonders darauf hinzudeuten, dass ein Theil der Wirkung der Kohlensäure bei der Düngung mit Excrementen desshalb unnöthig wird, weil sich in denselben die mineralischen Stoffe in einem sehr zugänglichen Zustande befinden, und desshalb die geringere Menge, die sich aus jenen entwickeln kann, um so weniger eine ernstliche Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit herbeiführen wird.

Man wird dem Resultat, zu dem wir gekommen sind, um so eher beipflichten können, wenn man sich an die nun oft erwähnte Thatsache erinnert, dass es in einem rein mineralischen, von Pflanzen bis dahin noch nicht occupirten Boden weit mehr der Mangel an genügender Stickstoffnahrung ist, der das Gedeihen der meisten Gewächse in demselben erschwert, als der Mangel günstiger physikalischer Eigenschaften und namentlich der Mangel einer Kohlensäurequelle. Stickstoff ist aber in den Excrementen der Thiere in ungeschmälerter Menge und leicht verfügbarer Form vorhanden. — Endlich werden die Aschenbestandtheile bei der Düngung mit Excrementen unter den oben gemachten Voraussetzungen selbstverständlich keine Verminderung erleiden, es sei denn durch Auswaschen der Ackererde und dergleichen Processe, — immer vorausgesetzt, dass die der geernteten Pflanzenmasse entsprechende Menge von thierischen Excrementen Verwendung findet.

Nach den gegebenen Erläuterungen wird man leicht die natürliche Befähigung der Excremente der von den Menschen gehaltenen pflanzenfressenden Thiere, als Düngstoffe zu dienen, begreifen und somit verstehen, warum denselben der Name von *natürlichen Düngern* geworden ist. Es darf dabei nicht vergessen werden, dass diesen Stoffen ausser der Düngebefähigung eine jede andere Befähigung, wirthschaftlichen Zwecken zu dienen, völlig abgeht. Den Nahrungswerth für Thiere, den die Futtermittel vor dem Passiren des thierischen Körpers besessen hatten, haben dieselben beim Austritt aus diesem völlig verloren. Einen geringen Werth als Brennmaterial besitzen die Excremente allerdings noch, aber nur in Ländern äussersten Holzmangels*); sonst sind kaum je technische Anwendungen**) von denselben gemacht worden, und umso mehr sind jene Stoffe von Natur zu Düngemitteln gestempelt. — Nichts ist aber vielleicht bezeichnender für diese Sachlage als, dass den Laien in landwirthschaftlichen Dingen noch heute „Mist“ und „Dünger“ als synonyme Begriffe erscheinen, wie sie es auch vermuthlich in früherer Zeit gewesen sind, und dass jene sich auch einen künstlichen Dünger nicht anders als stinkend und eckelhaft vorstellen können.

In der That sind nun auch die Excremente der Haussäugethiere als die naturgemässesten Düngestoffe in sehr früher Zeit als solche verwendet worden. Schon

*) Vgl. z. B. Schleiden: Baum und Wald. 1870. p. 87; u. a. vielen anderen Orten.

**) Als solche sind zu nennen: die Ammoniaksalzfabrikation aus thierischen Abfällen und einige Verwendungen von Koth und Harn in der Färberei.

die geschichtlichen Urkunden des grauen Alterthums machen manche Mittheilungen, die auf die Verwendung jener Excremente zur Düngung auf's Sicherste hinweisen, ganz abgesehen von der unwillkürlichen Düngung durch den Weidegang der Thiere. Dort hat man offenbar zuerst die Wirkung beobachtet, die jene Stoffe auf das Pflanzenwachsthum ausüben, namentlich wenn in der Nähe der Lagerstätten der Thiere sich Düngstoffe angehäuft hatten. Man hat dann ohne Zweifel angefangen, jene Stoffe zu vertheilen, um eine gleichmässigere Wirksamkeit zu erzielen, und so haben sich dann nach und nach die einfachsten Düngungsmethoden ausgebildet.

Homer*) erwähnt in der Odyssee des Stalldüngers, Xenophon*) gibt Rathschläge, denselben durch Vermischen mit vegetabilischen Abfällen, Erde und dergleichen zu vermehren. Aehnliche Methoden scheinen auch bei den Juden üblich gewesen zu sein. Was aber vielleicht am Meisten von allen Nachrichten für die genaue Kenntniss des Werths dieser Stoffe als Düngemittel im griechischen Alterthume spricht, ist die Thatsache, dass in den Gesetzen dieses Volks der Düngerdiebstahl*) mit Strafen bedroht war. Bei den Römern nun vollends finden wir weit raffinirtere Düngungsmethoden, die unsern heutigen ausserordentlich ähnlich sehen. Wir werden später gelegentlich noch von jenen zu sprechen haben.

Nachdem man sich nun einmal gewöhnt hatte, die thierischen Excremente zu sammeln und zur Düngung zu verwenden, lag es in der Natur der Dinge, auch eine Reihe von andern Stoffen auf ihre Düngebefähigung zu prüfen und die Entdeckung weiterer Düngemittel nicht mehr dem Zufall zu überlassen. So haben sich denn ohne Zweifel bei verschiedenen Völkern und in den verschiedenen Kulturperioden (von denen, wie wir später erkennen werden, die Düngungsarten vielfach abhängig sind) verschiedene Düngungsmethoden ausgebildet.

Vor Allem musste der Blick auch auf die *menschlichen Excremente* fallen, und man sollte vielleicht denken, dass diese Stoffe, für die sich ja theoretisch fast genau Dasselbe sagen lässt, was wir vorhin für die Düngebefähigung der thierischen Excremente angeführt haben, gleichzeitig mit jenen in dieser Eigenschaft hätten erkannt und als Dünger verwendet werden müssen. Allein Dem steht bei näherer Betrachtung Mehreres entgegen. Wir werden später die Zusammensetzung der menschlichen Excremente, welche von der der Ausscheidungen der Pflanzenfresser abweicht und der Verwendbarkeit jener einige Schwierigkeiten entgegensetzt, kennen lernen; an dieser Stelle genügt es hervorzuheben, dass schon etwas umständlichere und für die Bequemlichkeit der Menschen wenig dienliche Einrichtungen zur Aufsammlung dieser Stoffe nothwendig sind, dass die mit der Landwirthschaft beschäftigte Bevölkerung nothwendig weit auseinander wohnt, und die auf ein einzelnes Landgut entfallenden menschlichen Excremente nur einen sehr kleinen Bruchtheil auszumachen pflegen von den thierischen, wiewohl sie ohne Zweifel diesen schon in früher Zeit gelegentlich einverleibt worden sind, dass andererseits die Benutzung der städtischen Auswurfstoffe grosse Transportkosten verursacht, welche erst in sehr intensiven Perioden von der Landwirthschaft aufgebracht werden können**).

*) Die betreffenden Citate bei Conrad: Liebigs Ansicht von der Bodenerschöpfung. 1864. p. 144.

**) Hierzu kommt noch die natürliche Verschleuderung des Urins, welcher gerade die werthvollsten Düngebestandtheile enthält, durch die menschlichen Gewohnheiten.

Ueberall da, wo es durch die wirthschaftlichen Verhältnisse indicirt war, treffen wir übrigens auch schon im Alterthum Benutzung der menschlichen Excremente in der Landwirthschaft. Der Kloakeninhalt des alten Roms ist sorgsam zur Düngung der in der Nähe der Stadt befindlichen Gärten verwandt worden, wie denn auch die übrigen Düngungsmethoden der Römer das Gepräge einer sehr intensiven Wirthschaft an sich tragen. — Die Araber sollen sogar schon lange vor unserer Zeitberechnung nicht blos die menschlichen Excremente als Dünger benutzt, sondern auch eine Art der Umwandlung derselben in eine feste transportable Form, also eine wahre Poudrettefabrikation betrieben haben. — Wenn man die Verwendung der menschlichen Auswurfstoffe in der Geschichte oder durch verschiedene Länder dann weiter verfolgt, so erkennt man überall deutlich den Zusammenhang dieser Düngungsart mit der intensiven Kultur, denn später geht sie in jenen Ländern wieder verloren, nachdem sich die Betriebssysteme unter dem Einfluss der wirthschaftlichen Verhältnisse geändert hatten. Nichts vermag aber diesen Satz deutlicher zu belegen, als die ausgedehnte Anwendung menschlicher Excremente zur Düngung in China und Japan, in Ländern, wo eine ausserordentlich dichte Bevölkerung zu einem intensiven Betriebssysteme treibt und keinerlei Viehhaltung in grösserem Massstab betrieben wird, also kein Stalldünger in erheblichen Mengen zur Verfügung steht*).

Ich habe dieser interessanten Beziehung schon hier flüchtig Erwähnung gethan, um zu zeigen, dass es nicht die erhöhte naturwissenschaftliche Erkenntniss des Wesens der Düngung ist, welche z. B. heute die landwirthschaftliche Benutzung des Abtrittdüngers anbahnt, sondern lediglich die wirthschaftlichen Verhältnisse, dass — worauf es an dieser Stelle allein ankommt — jene Stoffe zu jeder Zeit und von jedem Volke durch sogenannte rohe empirische Erkenntniss in ihrer Düngebefähigung erkannt worden sind, und nur ihre Anwendung durch Umstände sekundärer Art häufig verhindert worden ist.

Genau in derselben Weise ist die *Guanodüngung* kein Ergebniss der erhöhten Einsicht in die Gesetze der Pflanzenernährung; der Guano wurde vielmehr in den Gegenden, wo er sich abgelagert findet, schon in so früher Zeit**) als Düngemittel benutzt, als wir überhaupt sichere Nachrichten von den betreffenden Ländern besitzen, und da derselbe auch Nichts Anderes ist, als eine Ansammlung thierischer Excremente (Vogelmist), die nur theilweise unter dem Einflusse der Atmosphärilien eine mehr oder minder grosse Wandlung durchgemacht haben, so müssen wir wiederum dessen Verwendbarkeit als Düngemittel höchst natürlich finden, wenn auch vielleicht eine etwas grössere Aufmerksamkeit dazu gehört haben mag, diese Verwendbarkeit ausfindig zu machen.

Alle diese Materialien, deren Entstehung sie unfehlbar zu Düngemitteln stempelt, und die dessbalb, mit Ausnahme einiger wenigen durch atmosphärische Einflüsse in ihrer Zusammensetzung sehr veränderten Guanosorten, als *absolute* Düngemittel bezeichnet werden können, haben in sehr früher Zeit ohne alle Theorie Verwendung gefunden und erscheinen desshalb auch als die *natürlichen* Düngemittel (die Guanosorten wenigstens in den Ländern ihres Vorkommens).

*) Vergl. hinsichtlich dieses Gegenstandes die vierzigste Vorlesung.
**) Vergl. Heiden: Düngerlehre II. p. 244.

An diese Stoffe reihen sich nun ganz naturgemäss an — und können grösstentheils auch als absolute Düngemittel gelten — alle Materialien, die direkt oder indirekt pflanzliche Produkte sind, aber nicht endgiltig als thierische Excremente auftreten, obwohl sie ähnlich wie diese nur einer beschränkten anderweitigen Verwendung fähig sind, — *thierische* und *pflanzliche Abfälle* aller Art. Die Befähigung pflanzlicher Abfälle als Düngemittel brauchen wir nach dem Frühergesagten nicht erst zu erweisen, sie ist uns ohne Weiteres verständlich*), und für die thierischen genügt die Bemerkung, dass die Organe der Thiere in Bezug auf düngende Bestandtheile denen der Pflanzen durchaus ähnlich zusammengesetzt sind, und dass gerade Stickstoff und Phosphorsäure in sehr grossen Mengen in denselben sich aufgespeichert finden. In diese Abtheilung gehören also Substanzen wie Malzkeime, Weintreber, Oelkuchen, Stroh, Laub, Schilf, Plaggen, Torf und dergleichen einerseits, Wollabfälle, Abfälle der Leimfabrikation, Knochen, Fischabfälle, Blut und dergleichen andererseits. Bei allen diesen Substanzen ist schon durch ihre Abstammung ihre Düngebefähigung ohne Weiteres verständlich, und viele derselben haben schon in sehr früher Zeit praktische Verwendung gefunden.

Allein selbst mit dieser ganzen Reihe von Stoffen sind die Düngemittel, welche mittelbar oder unmittelbar Produkte des Pflanzenlebens sind, noch nicht abgeschlossen. Wir haben neben den genannten noch solche zu unterscheiden, welche ebenso wie die thierischen Excremente hervorgegangen sind aus dem Verbrennungsprocess pflanzlicher Stoffe, nur hervorgegangen aus einer weit intensiveren und vollständigeren Verbrennung als jene. Ich meine die *Aschen unserer Brennmaterialien*, seien diese letzteren nun Produkte des jetzigen Pflanzenlebens oder fossiler Natur. Dieselben stehen mit ihren Eigenschaften als Düngemittel gleichsam an der einen äussersten Grenze, die unverbrannten Pflanzensubstanzen an der andern, die Excremente als halbverbrannte pflanzliche Stoffe in der Mitte. Doch genügt diese Andeutung noch nicht, um den Aschen ihre Stellung als Düngemittel bestimmt anzuweisen.

Da die Aschen völlig verbrannte Stoffe sind, so enthalten sie auch keine organischen Substanzen mehr, sie sind daher unvermögend, eine Quelle von Kohlensäure in der Ackererde hervorzurufen, desgleichen jene physikalischen Veränderungen daselbst vorzunehmen, welche für die verwesenden organischen Substanzen eigenthümlich sind. Hierin liegt schon ein erheblicher Unterschied von der Wirkung der thierischen Excremente, der übrigens in dem gemachten Vergleiche enthalten ist, welcher aber ganz zweifellos im Allgemeinen ein für die Aschen nachtheiliger genannt werden muss, wie wir nicht weiter auszuführen brauchen. — Allein, dass die Excremente hinsichtlich ihres Gehalts an düngenden Principien nicht in jeder Beziehung in der Mitte stehen zwischen jenen beiden Extremen, sich z. B. ganz anders verhalten müssen, als ein entsprechendes Gemisch aus unverbrannten Pflanzenresten und Pflanzenasche, geht einfach aus der Betrachtung des Verhaltens des Stickstoffs bei der Einäscherung hervor. Die stickstoffhaltigen Bestandtheile eines Stück Holzes entweichen vollständig bei der Verbrennung, und dabei ist es für uns vollkommen gleichgültig, dass ein Theil des entweichenden Stickstoffs die gebundene Form beibehält (als Ammoniak weggeht) — für uns ist er zunächst verloren. Wenn man

*) „Alles, woraus die Pflanzen bestehen, befördert auch ihr Wachsthum" hat **Rückert** schon in früher Zeit ausgesprochen; vergl. **Fraas**: Geschichte der Landwirthschaft p. 171.

daneben hält, dass bei der Verbrennung organischer Substanzen im thierischen Organismus eine vollständige Erhaltung des Stickstoffs erfolgt, also bei der gleichzeitigen Zerstörung von organischer Substanz eine relative Concentration desselben stattfindet, so sieht man sogleich den bedeutenden Unterschied, der hier herrscht, und der die Aschen ganz aus dem Bereich der absoluten Düngemittel verweist*). Die Aschenbestandtheile sind freilich in den Aschen vollständig und in leicht zugänglicher Form enthalten, aber dennoch würde ein Grundstück, immer nur mit der Asche der auf ihm producirten Pflanzensubstanz gedüngt, in den meisten Fällen weit weniger produktionsfähig sein, als ein solches mit den Pflanzen selbst oder der aus diesen hervorgehenden Excrementen gedüngt, wenn auch eine weitere Abnahme der Fruchtbarkeit bei Befolgung dieses Systems für ewige Zeiten niemals zu befürchten stände. Daher rührt es dann, dass die Pflanzenaschen und die Aschen der fossilen Brennmaterialien trotz ihres identischen Ursprungs mit jenen andern Düngemitteln doch nicht als absolute Düngemittel schlechtweg bezeichnet werden dürfen, da sie eben in Folge des Processes, dem sie ihre Entstehung verdanken, in ihrer Zusammensetzung ausserordentlich von jenen verschieden sind, und darum eine sehr einseitige Düngebefähigung besitzen.

Als Düngemittel, deren Wirkung von vorneherein ebenso begreiflich ist, als die der bis jetzt betrachteten, welche alle direkt oder indirekt pflanzlichen Ursprungs waren, können dann alle diejenigen aufgefasst werden, *welche in ihrer Zusammensetzung dem Boden ähnlich sind*, und dieser Gruppe von Düngestoffen müssen wir hier wenigstens schon kurz Erwähnung thun. Da ein auf natürlichem Wege gebildeter Ackerboden schon alle Elemente der Fruchtbarkeit in sich enthält, so ist uns die mögliche Verbesserung eines ungünstig zusammengesetzten Bodens oder eines durch Ernteentnahme erschöpften durch einen solchen leicht verständlich. Es ist klar, dass bei derartigen Bodenverbesserungen ganz vorzüglich diejenigen Bodenbestandtheile eine Rolle spielen werden, die wir besonders als die Träger von Pflanzennährstoffen oder sonst günstigen Eigenthümlichkeiten bezeichnet haben, also namentlich die thonigen aufgeschwemmten Massen eines ruhig fliessenden Stromes, mittelst derer eine Schlammdüngung erfolgt, oder der Mergel, der auch schon in der ältesten Zeit Verwendung**) als Düngmittel gefunden hat. Auch der Torf, den wir schon früher von einem andern Gesichtspunkt aus erwähnt haben, könnte hier genannt werden, da er als wahrer Boden vorzukommen pflegt.

Ausser den genannten gibt es nun aber noch eine grosse Reihe von Düngestoffen, die mit Recht den Namen von *relativen Düngemitteln* empfangen haben. Dieselben enthalten häufig nur ein einziges oder vielleicht zwei düngende Principien und sind desshalb nur unter ganz bestimmten Verhältnissen von Wirksamkeit, unter andern aber ganz und gar unwirksam, selbst wenn an sich eine Steigerung der Erträge möglich wäre. Es ist aus diesem Verhältniss klar ersichtlich, dass derartige Stoffe von der rohen Empirie nur selten in ihrer Düngebefähigung werden erkannt werden können. Denkt man sich auch, dass alle möglichen Stoffe im Laufe der Zeiten zufällig oder absichtlich auf ihre Wirksamkeit als Düngemittel wären geprüft

*) Hieraus werden dann auch wieder die Liebig'schen Irrthümer in dieser Beziehung ersichtlich.

**) Vergl. die Angaben in der siebenunddreissigsten Vorlesung hierüber.

worden, so mussten doch alle diejenigen unter ihnen, die der Wahrscheinlichkeit nach nur hie und da, wenn gerade jene Umstände zutrafen, Mehrerträge erzielen konnten, so lange man gar keine Anhaltspunkte besass für die Bestimmung dieser Umstände, als sehr unzuverlässige Düngemittel verworfen werden.

Zur allgemeinen Anwendung derartiger Düngemittel war daher eine klare Theorie der Pflanzenernährung nothwendig, und desshalb fällt dieselbe fast ausnahmslos in die allerneueste Zeit, wo sich eine solche Theorie der praktischen Landwirthschaft zur Verfügung gestellt hat. Aus demselben Grunde finden wir bei in ihren naturwissenschaftlichen Ansichten unentwickelten Völkern trotz aller Intensität des landwirthschaftlichen Betriebs, bei der die raffinirtesten Düngungsmethoden rentiren würden, keine Verwendung derartiger relativer Düngemittel, weil deren Brauchbarkeit eben nicht durch die roh-empirische Methode festgestellt werden kann.

Das Gesagte gilt natürlich noch in vergrössertem Massstabe für diejenigen relativen Düngmittel, die erst durch Fabrikation gewonnen werden. Die Methoden ihrer Darstellung können natürlich nur gefunden werden, wenn eine klar präcisirte Ernährungstheorie, die den complexen Begriff Düngestoffe in seine natürlichen Componenten zerlegt hat, als Leitstern dient. Schon aus diesen Andeutungen geht hervor, dass das Studium der Vegetationsbedingungen wenigstens einige Erfolge für den praktischen Pflanzenbau bereits gehabt hat.

Schliesslich kann man neben den sich so ergebenden Gruppen von Düngemitteln noch eine weitere Gruppe unterscheiden, welche als *indirekt wirkende Dünger* zu bezeichnen wäre. Man versteht unter dieser Bezeichnung solche Stoffe, die nicht durch ihren Gehalt an Pflanzennährstoffen, sondern aus irgend einer andern Ursache, meistens durch irgend eine chemische Reaktion im Boden, in Folge deren Nährstoffe verfügbar werden, sich wirksam erweisen. Auch hier ist nicht, wie zwischen keiner der andern Gruppen, eine strenge Grenze zu ziehen*); aber es ist nicht unzweckmässig, eine derartige Unterscheidung zu machen, weil dadurch der Gesammtüberblick erleichtert wird.

In den heute von uns gegebenen Rahmen werden wir dann suchen, in den nächsten Vorlesungen die einzelnen wichtigeren Düngemittel einzupassen und sie einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Dreiunddreissigste Vorlesung.

Der Stalldünger. — Die thierischen Excremente. — Die Einstreu.

Wir wenden uns in unsern Betrachtungen nunmehr den einzelnen wichtigeren Düngestoffen zu. — In unserer Uebersicht über die Düngemittel haben wir erkannt, dass den *thierischen Excrementen* eine ganz hervorragende Bedeutung in der Dün-

*) So müssten alle indirekt wirkenden Düngemittel gleichzeitig auch als relative bezeichnet werden, obwohl es deren giebt, denen eine so allgemeine Wirksamkeit zukommt, dass schon die rohe Empirie ihre Düngebefähigung erkannte.

gerwirthschaft zukommt, und warum Dies nicht anders sein kann. Wir haben in den Auswurfstoffen unserer landwirthschaftlichen Nutzthiere Substanzen erkannt, die nicht blos der Natur ihrer Entstehungsweise nach nothwendig eine Zusammensetzung zeigen müssen, welche sie zu Düngestoffen absolut geeignet macht, sondern die ausserdem auch keine andere erhebliche technische Bedeutung besitzen, welche sie etwa der Verwendung in der Landwirthschaft streitig machen könnte. — Zugleich haben wir uns eine Vorstellung davon verschafft, wie die Anwendung dieser und ähnlicher Düngemittel zum Pflanzenbau schon möglich war, ohne jede stichhaltige Vorstellung von dem Wesen der Pflanzenernährung.

Die thierischen Excremente aber finden nun in der Landwirthschaft gewöhnlich nicht als solche Verwendung, ausser beim Weidegang der Thiere, was freilich die einfachste Aufbringungsweise dieser Stoffe repräsentirt. Wenn die Auswurfstoffe vom Standort der Nutzthiere auf das Feld hinausgebracht werden müssen, so geschieht Dies fast nie in unvermischter Form, sondern immer gemischt mit anderen Substanzen, die als *Einstreu* bezeichnet werden, da sie in den Stall und unter die Füsse der Thiere eingestreut werden, und so zum Einsaugen und Aufsammeln der Auswurfstoffe dienen. Das Gemenge beider Substanzen heisst *Mist* oder *Stallmist;* je nach der Thierart, von der die Auswurfstoffe stammen, *Kuhmist, Pferdemist, Schafmist* u. s. w.

Der Stallmist besteht also aus zwei constituirenden Bestandtheilen, und unsere Aufgabe wird es sein, denselben nicht blos hinsichtlich der Thierart, von der die Excremente stammen, sondern auch hinsichtlich dieser beiden Bestandtheile ins Auge zu fassen. Wir werden mit der Betrachtung des unabänderlichen Gemengtheils aller Mistarten, der Excremente unserer Haussäugethiere, beginnen. Der Weg, der zweckmässiger Weise, um sich einen Ueberblick über die Zusammensetzung dieser Stoffe zu verschaffen, eingeschlagen wird, ist bereits im Verlauf der letzten Vorlesung angedeutet worden; es ist Dies die Betrachtung des thierischen Stoffwechsels in seinen Hauptzügen.

Die vegetabilischen Futterstoffe, von denen sich alle hierher gehörigen Thiere ernähren, werden bekanntlich von diesen durch das Maul aufgenommen, dort durch Kauen zerkleinert und gelangen mit dem Tränkewasser vermischt in den Magen resp. die Mägen, um dort und in den mit ihm im continuirlichen Zusammenhang stehenden und in den After endigenden Därmen den Verdauungsprocess durchzumachen. Bei manchen der hierher gehörigen Säugethiere, den sogenannten Wiederkäuern, welche mit der grössten Verdauungsenergie begabt sind, gelangt die Futtermasse aus dem einen Magen noch einmal durch den Schlund aufwärts in das Maul zurück, um einer zweiten Kauung unterworfen zu werden, — eine Modification des ganzen Processes, die uns hier nicht weiter berührt.

Ein je nach der Thierart und der verabreichten Futtermasse ziemlich verschiedener Antheil der der Verdauung unterworfenen Stoffe wird dabei (zum grössten Theil durch die Einwirkung eigenthümlicher Fermente) in Lösung übergeführt und durch die den Verdauungskanal umgebenden Chylus- und kapillaren Blutgefässe resorbirt und gelangen so in chemisch verwandelter Form in das Blut und damit eigentlich erst in das organisch Innere des thierischen Körpers. Die auf diese Weise assimilirten Nahrungsstoffe dienen dann zum Aufbau der verschiedenen Organe des

Körpers zum Ersatz für die in demselben abgenutzten Stoffe, da das Blut vermöge seines weit verzweigten Verlaufs mit all' diesen einzelnen Organen in Berührung kommt.

Zugleich tritt das Blut in die Lungen ein und oxydirt daselbst einen Theil der in ihm enthaltenen organischen Bestandtheile oder nimmt dort Sauerstoff auf, um ihn auf andere Gewebetheile zu übertragen. Es ist für unsern Zweck nicht nothwendig, auf die Details dieser Vorgänge einzugehen, wir können sogar die erwähnte Thatsache ganz unbeachtet lassen, dass die frisch assimilirten Bestandtheile des Blutes theilweise für abgängige Gewebselemente eintreten und diese dann als solche zerstört aus dem Blute entfernt werden. Wir können die Sache, ohne in Bezug auf das von uns zu Beachtende einen Fehlschuss zu thun, so auffassen, als ob bei einem Thiere, dessen Körperzusammensetzung keine Veränderung erleidet, die neu assimilirten Blutbestandtheile direkt der Zerstörung anheimfielen und nur bei einem in der Abnahme begriffenen Organismus die Gewebetheile des Körpers selbst einer Zerstörung unterworfen seien, obgleich die Sache sich strenggenommen nicht so verhält.

In der Lunge und durch die Haut der Thiere werden nun gewisse Stoffe, welche aus der Zerstörung der Blutbestandtheile resultiren, abgeschieden, die durch Verbrennung von organischen Substanzen erzeugte Kohlensäure und zugleich eine gewisse Menge Wasser. Die übrigen Spaltungsprodukte der zerstörten Blutbestandtheile, die nicht flüchtiger Natur sind, werden in Wasser gelöst, durch die Nieren aus dem Blute entfernt, in der Harnblase angesammelt und schliesslich als Urin nach Aussen entleert. In diesem Excrete haben wir dann namentlich das stickstoffhaltige Spaltungsprodukt der in dem Blute zerstörten stickstoffhaltigen organischen Substanzen, der Proteïnstoffe zu suchen, und der Stickstoffgehalt des Harns gibt uns einen genauen Massstab für die Grösse des Stoffwechsels an diesen Substanzen, während uns die Kohlensäuremenge, die durch Lunge und Haut entfernt wird, einen Massstab gibt für die Grösse des Umsatzes an organischer Substanz überhaupt.

Auch die Aschenbestandtheile, die grossentheils unzertrennlich von ihren organischen Begleitern, welche unter ihrem Einfluss in der Pflanze entstanden sind und sich umgeformt haben, mit diesen aus dem Verdauungskanale in das Blut übergetreten sind, werden dann im Harn wiedergefunden. Doch besteht hier gerade bei den hierhergehörigen Pflanzenfressern ein eigenthümliches Verhältniss, das zu berühren nothwendig ist, wenn man die Vertheilung der Aschenbestandtheile auf Harn und Koth verstehen will. Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass mit den Proteïnsubstanzen auch deren treuer Gefährte, die Phosphorsäure *) (oder der Phosphor), aus der Verdauungsmasse des Darms in das Blut mit übertritt, denn das Blut und die Gewebetheile, die es durchtränkt, sind phosphorhaltig. Ich brauche nur an die Knochen zu erinnern, um auf ein Gewebe von hohem Phosphorgehalt aufmerksam zu machen, das wie die andern Gewebetheile auch nur aus dem Blute sich gebildet haben kann und sich durch das Blut fort und fort ernährt. Dennoch treffen wir in derjenigen Excretionsflüssigkeit, welche wir als die Lösung der nicht flüchtigen Endprodukte des thierischen Stoffwechsels bezeichnet haben, gerade bei den Thierklassen, mit denen wir es hier vorzugsweise zu thun haben, keinen Phosphor an. Der Harn von Rindvieh, Pferd, Schaf ist phosphorsäurefrei oder enthält nur Spuren dieses

*) Vergl. über dies Verhalten I. Theil fünfzehnte Vorlesung p. 242.

Stoffes *); der Schweineharn ist auch nach Genuss der meisten Futtermittel arm daran, während der Harn von Fleischfressern, also z. B. vom Hunde eine sehr erhebliche und zu dessen Stickstoffgehalt in einem gewissen Verhältniss stehende Menge Phosphorsäure enthält. **)

Dieses eigenthümliche Verhalten würde für jene Pflanzenfresser gar nicht zu verstehen sein, wenn es nicht bekannt wäre, dass sich bei allen Thieren Flüssigkeiten aus dem Blute in der Form von Drüsenabsonderungen in den Verdauungskanal zurückergiessen. Sämmtliche Verdauungsflüssigkeiten sind solche Absonderungen, und wenn auch im Allgemeinen angenommen werden kann, dass z. B. die fermentartigen Bestandtheile jener Drüsensecretionen, nachdem sie ihren Dienst gethan, auch umgekehrt durch gemeinschaftliche Resorption mit der in Lösung übergeführten Verdauungsmasse wieder in das Blut zurückgelangen, so ist Dies doch für gewisse Absonderungen der grössten aller Verdauungsdrüsen nicht der Fall. Die Gallensubstanzen, welche in der Leber erzeugt werden, gehen, einmal mit dem Darminhalt vermischt, nicht wieder in das Blut zurück, sondern werden mit den nicht resorbirbaren Resten des Darminhalts als Fäces abgeschieden; sie sind es, die diesen die braune Färbung ertheilen. Wir haben es also in den Gallensubstanzen mit Endproducten des thierischen Stoffwechsels zu thun, welche nicht im Harne, sondern mit den Fäces entleert werden.

Somit ist eine Möglichkeit gegeben, wie Stoffe, welche sich an dem Umsatz im thierischen Körper nothwendig betheiligen, dennoch nicht in ihren nicht flüchtigen Resten im Harne nachgewiesen werden können. Wir haben dabei zu bedenken, dass gerade bei den Pflanzenfressern mit ihren ausgedehnten Verdauungswerkzeugen und ihren reichlichen und reichhaltigen Verdauungsflüssigkeiten jenes Verhalten eine besonders hervorragende Rolle spielen kann. Für den Phosphor haben wir nun jedenfalls einen derartigen Weg anzunehmen, ohne dass wir freilich heute anzugeben im Stande wären, auf welchem Wege und in welcher chemischen Form der Rückgang desselben aus dem Blute in den Verdauungskanal stattfindet. ***)

Andere Aschenbestandtheile der Futtermittel finden wir dagegen regelmässig in dem Harn der pflanzenfressenden Hausthiere wieder, ob in der ganzen Menge, in welcher sie an dem Stoffwechsel Antheil genommen haben, ist nicht zu sagen. Der Harn von Pferd, Rind und Schaf ist, was uns besonders interessirt, ausserordentlich kalireich; das Alkali findet sich dabei grösstentheils an Kohlensäure oder organische Säuren gebunden. Der Schwefel wird wohl theilweise mit dem Darmkoth abgeschieden werden, auch soweit er in den Stoffwechsel eingegangen ist, da man die Gallenbestandtheile ausserordentlich schwefelreich gefunden hat. †)

---

*) Damit steht dann die alkalische Reaktion des Harns dieser Thiere, dessen Aufbrausen mit Säuren im Zusammenhang, da es bei Abwesenheit der Phosphorsäure an fixen Mineralsäuren zum Sättigen der Alkalien und alkalischen Erden beinahe gänzlich fehlt.

**) Vergl. die fünfzehnte Vorlesung p. 242.

***) H. Rose hat die Asche der Ochsengalle reich an Phosphorsäure gefunden. Vergl. Jahresber. f. Chemie 1849. p. 539.

†) Der Schwefelgehalt der trockenen Galle beträgt bei den hierher gehörigen Thieren mit Ausnahme des Schweines 3½—6½ %; vergl. Kühne: Physiol. Chem. p. 82 u. Heiden: Düngerlehre II. p. 26.

Sowie der Harn die Endproducte des Stoffwechsels (mit den eben berührten Ausnahmen), so weit sie nicht gasförmiger Natur sind, enthält, so besteht der feste Koth aus den gar nicht in den Stoffwechsel eingegangenen Substanzen. Wenn man, um die oft gezogene Parallele zwischen thierischem Stoffwechsel und einem eigentlichen Verbrennungsprocess auszubeuten, den Harn mit der Asche, die ausgeathmete Luft mit den Verbrennungsgasen vergleicht, so sind die festen Excremente ein Gegenstück zu den durch den Rost gefallenen Holz- und Kohlenstückchen, welche dem Verbrennungsprocess entgangen sind, entweder weil der Rost zu weit oder die Verbrennungstemperatur eine zu niedrige gewesen ist. Der Koth besteht ausser jenen im Verhältniss zu seiner Masse sehr geringen Mengen Gallensubstanzen aus den unverdauten Bestandtheilen der verabreichten Nahrung, aus denjenigen Bestandtheilen, welche trotz allen Verdauungsflüssigkeiten nicht in eine resorbirbare Lösung übergeführt werden konnten.

Man darf sich nun aber unter diesen Bestandtheilen Nichts ein für alle Mal Constantes denken, einen gewissen Procentsatz von Stoffen für ein jedes Futtermittel, die nun einmal nicht verdaut werden können. Das Unverdaute ist vielmehr eine ziemlich complicirte Funktion von der Gesammtmenge der verzehrten Futterstoffe und deren relativen Zusammensetzung aus einzelnen Nährstoffen. *) Auch bezüglich dieses Verhaltens wäre es unschwer, die Parallele zwischen thierischem Stoffwechsel und einer Verbrennung im Ofen weiter zu verfolgen. Es finden sich unter den in den Fäces abgehenden unverdauten Stoffen immer solche, die unter Umständen recht gut hätten verdaut werden können und selbst von derselben Thierklasse oder demselben Individuum bei einem nochmaligen Durchgang durch den Organismus verdaut werden würden, während die Bestandtheile des Harns niemals wieder organische Nahrungsmittel sein können, selbst nicht für Geschöpfe von ziemlich entfernt stehender Lebensweise. Die Kenntniss dieses Verhaltens ist auch für unsere Betrachtungen von Bedeutung, da es mit Hülfe derselben gelingt, eine Vorstellung von der abweichenden Zusammensetzung der Excremente bei verschiedener Fütterung zu gewinnen.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen gehen wir zur Zusammensetzung der Excremente selbst über und theilen zunächst Durchschnittszahlen aus umfassenden Zusammenstellungen, denen sich Heiden **) unterzogen hat, mit.

	Pferd.			Rind.		
	Koth.	Harn.	Gemisch beider.	Koth.	Harn.	Gemisch beider.
Wasser	76%	87—92%	76—79%	82—85%	92—95%	86—89%
Org. Substanz	21%	6,9%	19,0%	14,6%	3,2%	10—12%
Stickstoff	0,4—0,5%	1,5%	0,6%	0,17—0,38%	0,3—0,9%	0,34—0,44%
Kali	0,35%	1,6%	?	0,05%	1,3%	
Phosphorsäure	0,32%	0	?	0,15%	0	
Gesammt-Asche	3,15%	3,1%	3,15%	1,9%	3,1%	2,1—2,4%

*) Vergl. z. B. Stohmann: Landwirth. Versuchsst. 1869, p. 401 oder Zeitschrift für Biologie 1870. H. 2; ferner landw. Versuchsst. 13. p. 16 u. f.

**) Düngerlehre II. p. 30—45. Zum Theil sind die im Text mitgetheilten Zahlen Umrechnungen aus den Angaben von Heiden.

Schaf.

	Koth.	Harn.	Gemisch beider. *)
Wasser	57—73%	85—90%	67%
Org. Substanz	24—37%	5—10%	27,5%
Stickstoff	0,5—0,7%	1,3—2,5%	0,9%
Kali	0,2—0,4%	2,1%	?
Phosphorsäure	0,3—0,6%	Spur	?
Gesammt-Asche	3—5,7%	3,2—6%	5,4%

Vorstehende Angaben können natürlich nur ein ungefähres Bild von der Zusammensetzung der Excremente der drei wichtigsten landwirthschaftlichen Nutzthiere geben. Ueberall, wo eine grössere Anzahl von Untersuchungen zur Ermittelung der gegebenen Zahlen zu Gebote stehen, da sieht man auch, dass die Zusammensetzung der Excremente innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwankt. Dies kann auch gar nicht anders sein, wenn man bedenkt, in welch' unmittelbarer Abhängigkeit die thierischen Ausscheidungen von der Ernährung stehen, wie die Fütterung mit anders zusammengesetzten Materialien oder auch die blosse Abänderung der Menge des aufgenommenen Tränkwassers genügt, um die Zusammensetzung der Auswurfstoffe gründlich umzustimmen. Desshalb sind auch die Schwankungen in Bezug auf die Zusammensetzung der Rindvieh- und Schaf-Excremente — und Dies ist immerhin aus den mitgetheilten Zahlen zu ersehen — viel erheblicher, als die der Pferdeexcremente. Rind und Schaf werden, weil es sich bei ihrer Nutzung um sehr verschiedene Dinge handelt, je nach der Art dieser Nutzung sehr verschieden gefüttert. Die Nahrung ist für Milchvieh, Mastvieh, Zugvieh und ebenso für Fleisch- und Wollschafe häufig eine andere, während die Pferde ausschliesslich Arbeitsthiere sind, und demgemäss auch weit gleichartiger gefüttert werden.

Abgesehen von diesen Schwankungen in der Zusammensetzung der Excremente, die für die verschiedenen Thiere verschiedene Werthe erreichen, sind indessen auch deutliche Zusammensetzungsunterschiede für diese Excremente je nach der Thierart, von der sie stammen, zu bemerken, welche als durch die Untersuchungen sicher festgestellte zu betrachten sind und eine gewisse praktische Bedeutung für die Verwendung der einzelnen Mistarten besitzen. Es versteht sich von selbst, dass diese Unterschiede auch auf verschiedene Fütterung zurückgeführt werden müssen, welche aber die landwirthschaftliche Praxis anschliessend an das Bedürfniss und die Ausnutzungsfähigkeit der verschiedenen Thierklassen gewählt hat, sowie auf den verschiedenen Wassergenuss dieser letzteren, denn es kann ja nicht zweifelhaft sein, dass ganz beliebige Thierarten, wenn es überhaupt gelingt, sie mit der procentisch gleichen Fütterung und Tränkung auf dem ungefähren Stoffgleichgewicht zu erhalten, mit Ausnahme geringer Differenzen im Gehalt an Wasser und organischer Substanz, (die von der etwas verschiedenen Athmung herrühren können) gleich zusammengesetzte Excremente liefern müssten, wenn auch natürlich die Vertheilung der einzelnen Stoffe auf Koth und Harn, die chemische Form der näheren Bestandtheile etc. eine sehr ungleiche sein könnte. Da aber auch die Elementarzusammensetzung der Gesammtausleerungen der verschiedenen landwirthschaftlichen Nutzthiere einander

*) Unsichere Zahlen; nur eine einzige Analyse.

ungleich ist, so ist Dies im Wesentlichen der verschiedenartigen Zusammensetzung der verabreichten Futterstoffe sowie dem verschiedenen Wassergenuss der einzelnen Thierarten zuzuschreiben.

Im Ganzen können wir nun die verschiedenen Excremente in ihrer Zusammensetzung folgendermassen charakterisiren: Der Schafkoth ist von allen der wasserärmste, dann folgt der Pferdekoth: der Rindviehkoth enthält die verhältnissmässig grösste Wassermenge. Genau in demselben Verhältniss steht der Harn der drei Thierklassen und also auch deren Gesammtausleerungen. Die Excremente des Schafes sind also die concentrirtesten und enthalten dementsprechend mehr organische Substanz, mehr Stickstoff, mehr Asche, mehr Phosphorsäure, während die Pferdeexcremente in allen diesen Stücken ungefähr zwischen denen des Schafs und denen des Rindes in der Mitte stehen. Doch nicht alle feinern Unterschiede, namentlich wenn man Harn und Koth gesondert betrachtet, lassen sich auf den verschiedenen Gehalt von Wasser zurückführen. So geht das Kali bei Schaf und Rind in etwas grösserem Verhältniss in den Harn über als beim Pferd, und der Rinderharn ist überhaupt relativ sehr reich an Aschenbestandtheilen, reicher als der Rinderkoth, ein Verhältniss, was beim Pferde nicht besteht. Diese Unterschiede, die uns indessen nicht weiter interessiren, werden natürlich nur theilweise auf die gebräuchliche Ernährung durch verschiedene Futtermittel gesetzt werden können.

Was die nähere chemische Zusammensetzung der Auswurfstoffe betrifft, so liegen auch in dieser Richtung eine Reihe von Untersuchungen vor, deren Resultate in sofern von Bedeutung sind, als sie uns namentlich Aufschluss verschaffen über die chemische Form, in der sich der Stickstoff des Harns befindet. Während im menschlichen Harn beinahe der gesammte Stickstoffgehalt in der Form von Harnstoff vorhanden ist, und nur sehr geringe Mengen von Harnsäure und anderen stickstoffhaltigen Verbindungen daneben angetroffen werden, und sich der Hundeharn ganz ähnlich verhält, so dass in diesen Flüssigkeiten der ganze Stickstoffgehalt annähernd genau durch Titriren des Harnstoffs ermittelt werden kann, spielt in dem Harn der Haussäugethiere neben dem *Harnstoff* ein anderes stickstoffhaltiges Endprodukt des Stoffwechsels eine bedeutende Rolle, die *Hippursäure* *). Dieselbe ist weit kohlenstoffreicher wie der Harnstoff, sie hat die Formel $C_9\ H_9\ N\ O_3$, letzterer die Formel $C\ H_4\ N_2\ O$. Während dieser sich nach dem Verlassen des thierischen Körpers, zuweilen auch schon in demselben, unter Wasseraufnahme in kohlensaures Ammoniak verwandelt, spaltet die Hippursäure unter den gleichen Umständen gleichfalls unter Wasseraufnahme eine sehr kohlenstoffreiche Verbindung, die Benzoësäure ab, während ihr Stickstoffgehalt in einem andern Spaltungsprodukt dem Glycocoll (Leimzucker) verbleibt, woraus zugleich die Constitution der Hippursäure einiger Massen erhellt. Die beiden Reaktionen verlaufen also, in Formeln ausgedrückt I. in folgender Weise:

$$\underset{\text{Harnstoff}}{C\ H_4\ N_2\ O} + \underset{\text{Wasser}}{2\ H_2\ O} = \underset{\text{kohlensaures Ammoniak.}}{2\ (N\ H_4)\ C\ O_3}$$

---

*) So genannt, weil sie von Liebig zuerst im Pferdeharn entdeckt wurde.
Ueber die Entstehungsbedingungen dieses Stoffes im Harn der Pflanzenfresser vergl. die ausführl. Besprechung dieses Gegenstandes in Kühne: Physiol. Chem. 1868. p. 500—503.

$$\underset{\text{Hippursäure}}{C_9H_9NO_3} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Glycocoll}}{C_2H_5NO_2} + \underset{\text{Benzoësäure *)}}{C_7H_6O_2}$$

In dem Mist von Thieren, deren Harn ausser Harnstoff auch noch Hippursäure enthält, werden wir daher wesentlich nicht diese Stoffe sondern Ammoniak und Glycocoll als Träger des Stickstoffs zu erwarten haben, und ohne Zweifel erleidet dann das Glycocoll, das seiner Constitution nach als Amidoessigsäure (als Essigsäure, in der ein Atom Wasserstoff durch Amid (NH_2) ersetzt ist) betrachtet wird, weitere Zersetzungen, bei denen schliesslich auch Ammoniaksalze resultiren.

Wir wissen aber, dass auch, wenn diese Zersetzungen nicht rasch genug oder nicht vollständig erfolgen sollten, die genannten stickstoffhaltigen Stoffe zur Noth auch als direkte Pflanzennahrung dienen können; wenigstens ist dies Verhalten für Harnstoff, Hippursäure und Glycocoll mit ziemlicher Sicherheit nachgewiesen**).

Die *Harnsäure* endlich, welche in dem Harne des Menschen in nicht ganz unerheblichen Mengen vorkommt, bei Vögeln und bei vielen Reptilien das beinahe ausschliessliche Endprodukt des Umsatzes von Proteïnsubstanzen ist, kommt im Harne der pflanzenfressenden Hausthiere nicht in beachtenswerther Menge vor, obschon sie hie und da qualitativ in demselben nachgewiesen werden konnte***).

Um einen Anhaltspunkt über die Quantität des Vorkommens der Hippursäure neben dem Harnstoff in dem Harne der Haussäugethiere zu gewinnen, mögen folgende Angaben dienen:

Boussingault †) fand im Pferdeharn 3,1% Harnstoff und nur 0,47% hippursaures Kali, so dass in diesem Falle die Stickstoffmenge, welche in Form von Hippursäure (bei dem geringen Stickstoffgehalt dieses Körpers) vorhanden war, geradezu gegen den Stickstoff in Gestalt von Harnstoff verschwindet.

Etwas anders gestaltet sich indessen das Verhältniss im Rindviehharn. Im Mittel von 8 Versuchen fanden Henneberg und Stohmann im Kuhharn††) 0,85% Hippursäure auf 1,1% Harnstoff, und Boussingault fand ein ganz ähnliches Verhältniss. Im Harne der Schafe scheint die Hippursäure noch nicht nachgewiesen worden zu sein.

Die Excremente des *Schweins*, die gleich denen der eben besprochenen landwirthschaftlichen Haussäugethiere eine gewisse Bedeutung als Düngemittel besitzen, sind nicht mit jenen andern besprochen und für eine besondere kurze Behandlung aufgespart worden, weil sie, ganz entsprechend der üblichen Ernährung dieser Thierklasse, je nach dieser Ernährung eine äusserst verschiedene Zusammensetzung besitzen. Die Schweine werden nun einmal in der Regel — wir haben nicht zu untersuchen, ob zweckmässiger Weise oder unzweckmässiger Weise — mit allen möglichen Abfällen ernährt, kein Wunder, dass auch die Auswurfstoffe dieser Thiere eine sehr variirende Beschaffenheit, einen sehr verschiedenen Werth besitzen.

---

*) Im thierischen Körper entsteht vermuthlich die Hippursäure auf umgekehrte Weise, da sie bekanntlich im Harn nach Genuss von Benzoësäure auftritt.

**) Vergl. die elfte Vorlesung p. 173.

***) Vergl. Kühne: Physiol. Chem. p. 486, und nicht blos in dem einen Fall, von dem Heiden (Düngerlehre B. II. p. 43) berichtet.

†) Vergl. Heiden ebenda p. 31.

††) Vergl. ebenda p. 37.

Daher stammt denn auch die sehr von einander abweichende Beurtheilung des Schweinemists bei einzelnen Landwirthen und landwirthschaftlichen Schriftstellern. Während ein landwirthschaftlicher Schriftsteller des alten Roms geradezu ausspricht, der Schweinemist tauge nicht (woraus gleichzeitig ein Rückschluss auf die Art der Schweinefütterung bei den Römern möglich ist), sehen wir ihn andererseits bisweilen ziemlich hoch geschätzt.

Die Zahlen, die in Bezug auf die Zusammensetzung der Schweineexcremente nach der geringen Zahl der bis jetzt angestellten Analysen mitgetheilt werden können, bezeichnen also voraussichtlich bei Weitem nicht die weitesten Grenzen, die mit Sicherheit angenommen werden dürfen.

Es wurde gefunden:*)

	Koth.	Harn.	Gemisch beider.
Wasser	77—84%	98%	82%
Organ. Substanz	10—15	1	14
Stickstoff	0,7	0,23	0,6
Kali	0,27	0,7	?
Phosphorsäure	0,4	?	?
Asche	6,5—7,5	1,0	3,7

Immerhin lässt sich aus diesen Angaben ersehen, dass die Ausleerungen des Schweins ziemlich verdünnter Natur sind und hinsichtlich des Wassergehalts nur von denen des Rindviehs übertroffen werden. Besonders auffallend ist für den Schweineharn dessen sehr geringer Substanzgehalt, der noch hinter dem des Rindes weit zurücksteht. Daraus kann man schliessen dass z. B. der nicht ganz geringe Stickstoffgehalt der Gesammtausleerungen des Schweins doch nicht viel für die Düngebefähigung dieser Stoffe zu bedeuten hat, da die Hauptmenge desselben sich auf die unverdauten stickstoffhaltigen Bestandtheile des Koths zurückführen lässt, denen nur eine geringere Bedeutung als Pflanzennährmittel zukommt, da sie auch im Boden sich als schwer zersetzbar erweisen werden. Man vergleiche damit das Stickstoffverhältniss in Harn und Koth für die drei anderen landwirthschaftlichen Nutzthiere. — Etwas Aehnliches lässt sich auch wahrscheinlich für einzelne Aschenbestandtheile aussagen.

Hippursäure scheint der Schweineharn nicht zu enthalten, sondern allen Stickstoff in der Form von Harnstoff; dagegen enthält derselbe, namentlich nach gewisser Fütterung (mit Kleie) erhebliche Mengen von Phosphorsäure, er reagirt daher häufig sauer, in seltenen Fällen ganz schwach alkalisch zum Unterschied von dem Harn jener anderen Säugethiere, der stets alkalisch reagirt und mit Säuren braust.

Weiter hätten wir dann noch der *Auswurfstoffe des Federviehs* Erwähnung zu thun, die bekanntlich für die Landwirthschaft nicht ohne Bedeutung sind. Besonders bei den alten Römern stand der Taubendung und die Excremente anderer Vögel, welche auf den Landgütern ganz regelmässig eigens der Düngerproduktion wegen gehalten wurden, in hohem Ansehen**). Obgleich nun derartige Düngestoffe in unserer heutigen Landwirthschaft wegen der geringen Ausdehnung der Geflügelzucht

*) Vergl. Heiden a. a. O. p. 44—45.

**) Siehe darüber die geschichtlichen Angaben Heidens (dessen Düngerl. II. p. 243).

keine hervorragende Rolle mehr spielen, so ist es doch der Vergleichung wegen interessant, Einiges Wenige von der Zusammensetzung dieser Stoffe kennen zu lernen, um so mehr, als wir bald einen als Fossil sich ablagernden Vogeldung kennen lernen werden, der auch für unsere heutigen Verhältnisse von der allergrössten Bedeutung ist.

Im Mittel mehrerer Analysen wurde gefunden: *)

	Taubenkoth.	Hühnerkoth.	Entenkoth. **)	Gänsekoth. **)
Wasser	62%	65%	53%	82%
Organ. Substanz	31—32	21—2[illegible]	40	14
Stickstoff	1,2—2,4	0,7—1,9	0,8	0,6
Alkalisalze	2,0—2,2	1,2—1,6	0,4	3,1
Phosphate	3,0—4,2	5,0	3,5	0,9
Asche	6—7	9—14	7	4

Der natürliche oder durch Verunreinigungen in die Excremente gelangte Sandgehalt wurde als zufälliger Gemengtheil durch Berechnung eliminirt.

Diese Angaben, so unvollständig sie immerhin sein mögen, erlauben doch ein ungefähres Urtheil über die Concentration und den Düngewerth der einzelnen Vogelkotharten.

Der *Taubenkoth* steht durch seinen ungewöhnlichen Reichthum an Stickstoff. welchen letzteren wir uns dazu grossentheils in einer leichtzugänglichen Form, als Harnsäure vorhanden denken müssen, über allen bisher betrachteten Auswurfstoffen. Die Gesammtausleerungen des Schafes, das sonst die stickstoffreichsten Excremente liefert, sind weit ärmer an diesem Bestandtheil. Der *Hühnerkoth* steht in dieser Hinsicht dem Taubenkoth nahe, während *Enten-* und *Gänsekoth* stickstoffärmer sind und hierdurch allein schon die Meinung der Alten rechtfertigen, welche diese letzteren Auswurfstoffe trotz ihrer sonstigen Hochachtung für den Vogeldung verwarfen***). Dieser auffallende Unterschied wird uns leicht verständlich, wenn wir die Ernährung unserer Hausgeflügelarten erwägen. Die Tauben ernähren sich mit Vorliebe von Körnern und namentlich von den stickstoffreichen Körnern der Leguminosen; Enten und Gänse fressen besonders krautartige Pflanzentheile, während die Hühner in ihrer Ernährung mehr in der Mitte stehen.

Ueber den Gehalt jener einzelnen Auswurfstoffe an Aschenbestandtheilen, wollen wir wegen unzulänglichen Angaben in dieser Richtung keine voreiligen Reflexionen anstellen, ebensowenig über den vielleicht blos in Folge einer Zufälligkeit gering erscheinenden Wassergehalt des Entenkoths. Auf die merkwürdige Uebereinstimmung des Gänsekoths mit den Gesammtausleerungen des Schweins wäre einstweilen hinzudeuten, wenn auch bei der Variation der Zusammensetzung beider Stoffe einem solchen Hinweis wenig Werth beigelegt werden darf.

---

*) Vergl. Heiden: ebenda p. 278—279. Die Zahlen wurden (unter Vernachlässigung einiger unwahrscheinlicheren Angaben) in ähnlicher Weise wie die früher mitgetheilten umgerechnet.

**) Die beiden letzten Zahlenangaben stützen sich nur auf ganz vereinzelte Analysen und verdienen weniger Zutrauen.

***) Vergl. Heiden: a. a. O. p. 244.

Nachdem wir uns so über die Zusammensetzung der Excremente unserer Hausthiere im Allgemeinen orientirt haben, werden wir nun das andere Element, das mit jenen zusammen den Stallmist bildet, etwas näher ins Auge zu fassen haben. Es ist eine in der Landwirthschaft aller Völker, welche jene Excremente zur Düngung benutzen, sehr verbreitete Sitte, dieselben nicht für sich aufzusammeln und zu verwenden, sondern hiezu eigenartige poröse Materialien zu benutzen, welche mit dem Namen *Streu* oder *Einstreu* belegt werden. Selbstverständlich ist nun der aus beiden Elementen hervorgehende Stallmist in seiner Zusammensetzung und seinen düngenden Eigenschaften nicht blos abhängig von der Beschaffenheit der Excremente, sondern ebenso von der Beschaffenheit dieser Einstreu, welche letztere desshalb eine gewisse Beachtung verdient.

Zunächst ist Einiges zu sagen von der Bedeutung der Einstreu in Bezug auf die Conservirung der Excremente, weil dieselbe uns darüber belehrt, warum die Sitte, den Nutzthieren im Stalle eine Streu zu bereiten, eine so allgemeine ist. Wir werden daraus ersehen, dass der Nutzen der Streu für die Wirkung des resultirenden Düngers nicht etwa allein in ihrer eigenen Düngebefähigung liegt. — So hätten wir denn über die Zersetzungsfähigkeit der Excremente und deren Einfluss auf den Düngerwerth zu reden.

Die thierischen Auswurfstoffe haben wie die meisten organischen Substanzen, wenn sie mit Wasser imprägnirt sind, die Fähigkeit eine Reihe von Zersetzungen durchzumachen, die theilweise als Oxydationserscheinungen, theilweise als innere Umlagerungen und neue Gruppirungen der Stoffelemente zu bezeichnen sind, alle aber unter Verlust von chemischen Spannkräften und unter Freiwerden von Wärme verlaufen. — Von diesen chemischen Vorgängen, deren Ursache zu ergründen, hier nicht unsere Aufgabe sein kann, sind für unsere Betrachtung vornehmlich zwei von Belang, die Oxydationserscheinungen, durch welche organische Substanz zerstört wird, und jene Umsetzungen stickstoffhaltiger organischer Substanzen, durch welche flüchtiges Ammoniak entsteht. Durch den ersteren Vorgang wird die organische Substanz des resultirenden Düngers und somit dessen Fähigkeit, in der Ackererde Kohlensäure zu entwickeln, sowie eine Reihe von wichtigen physikalischen Funktionen auszuüben, und damit häufig dessen Düngewerth vermindert. Durch den andern wird Gelegenheit gegeben zu Verlusten an kostbaren stickstoffhaltigen Pflanzennährstoffen. Daraus ist nun deutlich ersichtlich, dass, wenn auch, wie wir später sehen werden, gewisse Zersetzungserscheinungen im Miste geradezu als Qualitäts-verbessernd erscheinen und darum absichtlich begünstigt werden, jene Vorgänge doch einen Verlauf nehmen können, der schädlich ist und der darum so gut als möglich vermieden werden muss.

Man kann nun sagen, dass eine jede zu rasch verlaufende, zu energische Zersetzung des Mistes mit Bildung von viel Ammoniak in flüchtigem Zustande verbunden ist, und dass eine derartige Zersetzung durch Beimischung anderer, nicht in dem Grad zersetzbarer Stoffe, die eine Verdünnung der sehr zersetzbaren Bestandtheile bewirken, verhindert wird. Dabei spielt jedenfalls die Temperatursteigerung durch den Zersetzungsprocess, welche das weitere Fortschreiten desselben begünstigt, durch Zumischen anderer Stoffe aber herabgedrückt wird, eine Rolle. Auf diesen Gesichtspunkt lässt sich die eine Bedeutung der Einstreu im Wesentlichen zurückführen.

Eine weitere Bedeutung derselben beruht dann augenscheinlich auf ihrer Befähigung, flüssige Stoffe aufzusaugen, breiigen eine gewisse Consistenz zu geben und so die Aufsammlung derartig beschaffener Excremente sehr zu erleichtern. Endlich ist dann auch auf den Gehalt der Einstreumaterialien an düngenden Stoffen, welche z. Th. erst durch die Vermischung mit jenen leicht zersetzbaren aufgeschlossen und nutzbar gemacht werden, hinzudeuten.*) Alle diese verschiedenen Eigenschaften beeinflussen natürlich den Düngewerth der aus Excrementen und Streu hervorgehenden Stallmistsorten.

Das bekannteste und weitverbreitetste Streumaterial ist das *Stroh,* die Stengel und Blatttheile unserer Getreidearten und einiger anderer unserer Kulturgewächse. Schon der etymologische Ursprung des Wortes „Stroh" deutet dieses Verhältniss an. Das Getreidestroh, in sehr grossen Mengen alljährlich producirt, hat nur eine beschränkte technische Verwendung, ist als menschliches Nahrungsmittel werthlos und kann auch als Futterstoff meistens nicht in dem Massstab Verwendung finden, als nach den gewöhnlichen Betriebsmethoden davon zur Verfügung steht. Somit erscheint die übliche Verwendung des Strohes als Streumaterial durchaus indicirt. Das Gesagte schliesst darum nicht aus, dass es Kulturperioden und Betriebsmethoden gibt, für die eine Verwendung ganz anderer Materialien als Einstreu am Platze erscheint — und es wird leicht sein, die Umstände zu bestimmen, unter denen Etwas Derartiges eintreten wird — Dasselbe spricht nur aus, dass derartige Verhältnisse selten sind.

Es ist weiter leicht einzusehen, dass das Stroh ausser der wirthschaftlichen auch die physikalische Befähigung als Streumaterial besitzt. Als blosses Verdünnungsmittel und um einen zu energischen Zersetzungsprocess der Auswurfstoffe zu verhüten, könnte freilich ein jeder fein vertheilte Körper dienen; allein das Stroh zeichnet sich in Folge seiner eigenthümlichen Struktur, namentlich der Stengelhöhlungen durch eine erhebliche wasserfassende Kraft aus, so dass es grosse Mengen von flüssigen Ausleerungen in sich aufsaugen kann, diese in sich aufsammelt und zugleich den Thieren ein trockenes Lager bereitet. Weiter besitzt das Stroh als Pflanzenbestandtheil einen gewissen Düngerwert, den wir nachher näher zu erörtern haben werden.

Neben dem Getreidestroh spielt das Stroh von Raps, Erbsen, Bohnen und anderen Pflanzen gelegentlich auch eine Rolle als Einstreu; in ausgedehnterem Massstabe sehen wir aber auch Materialien ganz anderen wenn auch pflanzlichen Ursprungs, die sogenannte *Waldstreu* zu dem gleichen Zwecke in Anwendung kommen. Die Waldstreu sind Producte oder Abfälle der Forstwirthschaft und kann unterschieden werden in Laub- und Nadelstreu. Die erstere besteht aus den im Herbste fallenden Blättern unserer Laubbäume (welche ersteren vielfach nach bestehenden Gerechtsamen von den Landleuten auch im Walde der Domänen gesammelt und fortgenommen werden dürfen), die letztere aus den mit Nadeln besetzten Zweigen des gefällten Nadelholzes (welche jedoch der Natur der Sache nach nur in beschränktem Massstab Verwendung finden können) oder aus den abgefallenen Nadeln.

*) Die Bedeutung der Einstreu für den Gesundheitszustand der Thiere ist natürlich neben der hier hervorgehobenen nicht zu vernachlässigen, obwohl sie natürlich nicht von uns behandelt zu werden braucht.

Neben Abfällen pflanzlicher Natur finden dann auch, namentlich, wo es an diesen fehlt, *erdartige Materialien,* Torf, Erde oder Sand als Einstreu Verwendung. Diese können natürlich in Bezug auf Auffassung der Auswurfstoffe, auf Mässigung der Zersetzungserscheinungen genau Dasselbe leisten wie jene vegetabilischen Substanzen; ein Gleiches kann jedoch nicht gesagt werden hinsichtlich des eigenen Düngewerths dieser Streumaterialien und auch vielleicht nicht hinsichtlich der Reinlichkeit des Standes der Thiere, mit dem wir es jedoch hier nicht zu thun haben. Wird ein armer Sand, was freilich selten geschieht, zur Einstreu benutzt, so kann von einem eigenen Düngewerth dieses kaum die Rede sein, und bei Benutzung von Erde kann natürlich Nichts Allgemeines von dem Düngewerth derselben ausgesagt werden, immerhin wird dieser im Vergleich mit dem jener vegetabilischen Stoffe ein verhältnissmässig geringer sein. Vom Torfe wird trotz seiner specifischen Verschiedenheit schon eher Etwas Allgemeines gesagt werden können.

Unsere Aufgabe wird also vorzüglich darin bestehen, die Zusammensetzung jener vegetabilischen Materialien, die gewöhnlich zur Einstreu benutzt werden, und deren Menge, in der sie dem Stallmiste einverleibt zu werden pflegen, einer Betrachtung zu unterwerfen, daneben aber auch einen Blick auf die physikalische Beschaffenheit der einzelnen Streumaterialien zu werfen.

	Getreidestroh.	Erbsenstroh.	Bohnenstroh.	Wickenstroh.*)
Wasser	12—21%	12—17%	14—22%	13—17%
Organ. Substanz	75—83	82—83	76	75—80
Holzfaser	29—55	34—52	26—42	31—53
Stickstoff	0,3—0,9	2,0	1,7	?
Kali	0,5—1,1	1,1	?	?
Phosphorsäure	0,2—0,3	0,4	?	?
Asche	3—8	3—4	5—9	5—8

In Bezug auf die Zusammensetzung dieser Stroharten und auf die Veränderungen, welche der Mist durch die Einverleibung derselben erleidet, kann also gesagt werden, dass durch diese Stoffe der Gehalt eines Düngers an Trockensubstanz sowie speciell an organischen Substanzen ausserordentlich erhöht werden muss, dass ebenso der Stickstoffgehalt des Rindviehmistes durch Einverleibung selbst des stickstoffarmen Getreidestrohes eher vermehrt als vermindert wird. Sogar die stickstoffreichen Ausleerungen des Schafes sind im natürlichen wasserhaltigen Zustande kaum reicher an diesem wichtigen Düngestoff als manche Getreidestroharten und weit ärmer als das Stroh der Lemuminosen.

Allein wir haben die Zugänglichkeit, die chemische Form dieses Nährstoffs in Betracht zu ziehen und zu bedenken, dass der Stickstoff der Excremente grossentheils in Gestalt jener leicht zersetzbaren Stoffwechselprodukte, die wir als unmittelbare Pflanzennahrung betrachten können, vorhanden ist, der Stickstoff verholzter Pflanzentheile in jener unzugänglichen Form, in der er häufig auch nach weit vorgeschrittenem Verwesungsprocesse nicht für die Vegetation verfügbar wird, sondern sich in der Ackererde in den sogenannten humosen Stoffen anhäuft. **)

*) Aus den Zusammenstellungen von Heiden (Düngerlehre II. p. 52) entnommen mit Berücksichtigung der Kühn'schen Angaben über die Zusammensetzung dieser Materialien.

**) Vergl. die siebenundzwanzigste Vorlesung p. 69.

In Betreff der werthvollen Aschenbestandtheile ist darauf hinzudeuten, dass der Mist durch Einverleibung der strohartigen Streumaterialien auch an diesen Stoffen absolut (wenn auch manchmal nicht relativ) reicher wird, dass aber auch in diesem Falle die Aschenbestandtheile der Excremente unmittelbar einen grössern Wirkungswerth besitzen müssen, weil sie grossentheils schon ohne tiefer eingreifende Verwesungsprocesse dem Pflanzenwachsthum zur Verfügung stehen. Es ist unnöthig diese Dinge, die nach den früher gemachten Ausführungen ganz selbstverständlich erscheinen, mehr als anzudeuten.

Die Zusammensetzung weiterer als Streumaterialien benutzter vegetabilischen Stoffe ist folgende *):

	Rohrschilf.	Riedgräser, Binsen.	Haidekraut.	Baumlaub (herbstl.)	Fichten- und Kiefernnadeln (frisch).
Wasser	18%	14%	20%	13—15%	47,5%
Org. Substanz	78	79—81	76	78—81	52
Holzfaser	?	?	?	11—16	?
Stickstoff	?	?	1,0	0,8—1,4	0,5—0,9
Kali	0,3	1,7—2,3	0,5	0,15—0,4	0,03—0,1
Phosphorsäure	0,1	0,3—0,5	0,2	0,2—0,3	0,1—0,2
Asche	3,9	4,6—7,0	3,6	4,2—5,7	0,8

Auch unter diesen Materialien finden wir einige von weit höherem Stickstoffgehalt, als die natürlichen Auswurfstoffe, und man sollte denken, dass dadurch eine Qualitätserhöhung des mit solchen Streumaterialien bereiteten Mistes herbeigeführt werde. Allein es ist hier zu wiederholen, was eben ausgesprochen wurde; auch der Stickstoff dieser Stoffe ist grossentheils der Verwesung und damit einer neuen Vegetation wenig zugänglich, da er hauptsächlich Bestandtheil stark verholzter Pflanzentheile ist. Dies Verhalten ist indessen fast ganz und gar aus Erfahrungen mit diesen Streumaterialien in der Praxis erschlossen worden, während eigentliche exaktere Versuche in dieser Richtung nicht vorliegen.

Die Wirkung der Einverleibung dieser vegetabilischen Stoffe in den Mist muss also wie bei den Stroharten neben der gleich näher zu erörternden Fähigkeit, die werthvollen Bestandtheile desselben aufzusammeln und zu conserviren, wesentlich in der verhältnissmässig grossen Menge von organischen Substanzen gesucht werden, um die der Dünger bereichert wird. Die Nützlichkeit einer grossen Menge, wenn auch langsam verwesender organischer Substanzen im Boden bedarf nach der früheren ausführlichen Darstellung dieses Gegenstandes keines weiteren Hinweises, sie beruht aber bei der Einstreu auch wesentlich auf der rein mechanischen Beschaffenheit derselben, welche dem Boden allerlei für das Pflanzenleben nützliche Eigenschaften, z. B. den schweren Böden Lockerheit, den leichten Bindigkeit mittheilen.

Ueber die Zusammensetzung der sonst noch üblichen Streumaterialien, die nicht oder wenigstens nicht direkt vegetabilischen Ursprungs sind, von Erde und Torf lässt sich, wie gesagt, Nichts Allgemeines angeben. Humose Erden und Torfe theilen ihrem grossen Gehalte an organischen Substanzen entsprechend in mancher Hinsicht

*) Z. Th. nach den Angaben der eben genannten, nach E. Wolff und nach eigenen Analysen. Vergl. ferner Krutzsch: Chem. Ackersm. 1863. p. 22 u. 23.

die Eigenschaften der vegetabilischen Streumaterialien; von dem Stickstoffgehalt dieser humosen Erdarten und Torfe kann Etwas ganz Aehnliches gesagt werden, wie von diesem Gehalt des Strohes, des Baumlaubs u. s. w. — Analysen dieser erdartigen Einstreumaterialien aufzuführen, würde indessen bei ihrer grossen Verschiedenheit wenig Sinn haben.

Es bleibt uns also noch übrig, die verschiedenen zur Einstreu benützten Substanzen hinsichtlich ihrer sonstigen Fähigkeit, auf die Beschaffenheit des mit ihrer Hülfe bereiteten Mistes einzuwirken, zu untersuchen. In erster Linie kommt dabei die wasserfassende Kraft der verwendeten Materialien in Betracht; aber auch noch andere Eigenschaften sind für deren Brauchbarkeit von Bedeutung. Die wasserfassende Kraft der den Thieren unterbreiteten Streu ist es offenbar, die den gelassenen Harn am Ablaufen verhindert und dennoch den Thieren ein trockenes Lager bereitet.

Es liegen einige, wenn auch kaum mit einander vergleichbare Untersuchungen über die wasserhaltende Kraft der verschiedenen Einstreumaterialien vor. Heiden hat für verschiedene Stroharten solche angestellt, indem er kleine Bunde von Stroh ein oder zwei Tage unter Wasser legte, herausnahm und nach verschiedenen Perioden des Liegens an der Luft wog. Das von den einzelnen Stroharten zurückgehaltene Wasser war ziemlich gleich. *)

Es liegen ferner für die Waldstreu, abgefallenes Laub und Nadeln, einige Beobachtungen in derselben Richtung vor **), und die Zahlen, die für die wasserhaltende Kraft dieser Streumaterialien gefunden worden sind, lauten z. Th. erheblich günstiger, als die für Stroh ermittelten. Indessen sind Experimente unter genau vergleichbaren Bedingungen abzuwarten, ehe man der Laub- und Nadelstreu eine höhere wasserhaltende Kraft zuschreibt, als den strohartigen Streumaterialien.

In Betreff der Fähigkeit der als Streu benützten Erdarten, Flüssigkeiten kapillar festzuhalten, berufe ich mich einfach auf die früher gemachten Mittheilungen ***); dieselben sind zwar auch nicht direkt vergleichbar mit den für die vegetabilische Streu ermittelten Zahlen, da damals von der wasserfassenden Kraft gleicher Erdvolumina die Rede war. Es ist indessen aus den in der Anmerkung mitgetheilten Zahlen zu ersehen, dass die wasserfassende Kraft der Erdarten, vielleicht mit der

*) Die von Heiden (Düngerlehre II. p. 48) mitgetheilten Zahlen sind folgende:

	Weizenstroh.	Roggenstroh.	Haferstroh.	Erbsenstroh.
In 24 Stunden aufgenommenes Wasser	226%	241%	214%	281%
Nach 2stünd. Liegen an der Luft noch vorhanden	213	230	209	273
„ 20 „ „ „ „ „ „ „	189	191	190	238
„ 44 „ „ „ „ „ „ „	171	174	174	189

Die unteren Zahlen drücken indessen nicht mehr die wasserfassende Kraft aus; bei denselben kommt wesentlich auch die Anziehungskraft der Stroharten zur Feuchtigkeit in Betracht, die freilich ziemlich gleich zu sein scheint.

**) Vergl. Krutzsch: Chem. Ackersmann 1863, p. 16. Die gefundenen Zahlen sind:

	Buchenlaub.	Fichtennadeln.	Kiefernnadeln.
Wasserhaltende Kraft:	442%	309%	221%

***) Vergl. die einunddreissigste Vorlesung p. 139.

einzigen Ausnahme ausserordentlich humusreicher, geringer ist, selbst als die des Strohes. *)

Wenn man nun aber nach diesen Resultaten ohne Weiteres die physikalische Befähigung der einzelnen Materialien, als Einstreu zu dienen, abschätzen wollte, so würde man zu einem sehr schiefen Urtheile gelangen, das mit den Anschauungen der Praxis in direktem Widerspruche stünde. Zunächst kommt es bei der Erdeinstreu gar nicht so sehr darauf an, dass die wasserfassende Kraft wirklich eine so grosse sei. Bei einem Materiale, das beinahe umsonst zu haben ist und das nur vom Feld in den Stall transportirt zu werden braucht, um als Einstreu zu dienen, ist es natürlich nicht so sehr von Belang, ob ein Bischen mehr oder weniger in Anwendung kommt, wenn nur der Zweck erreicht wird und die flüssigen Auswurfstoffe vollkommen aufgesogen werden, während es bei Stoffen, die einen bedeutenden Marktpreis besitzen, oder nur in beschränkter Menge zu erlangen sind, wie Stroh und Laubstreu, vielmehr auf die Menge ankommt, welche die Aufsaugung besorgt.

Die Laubstreu müsste weiter der blossen wasserhaltenden Kraft nach vielleicht dem Stroh übergeordnet werden, dennoch spricht die Meinung der Praktiker für die grössere Befähigung des letzteren, als Einstreu zu dienen, und Dies liegt ohne Zweifel in der eigenthümlichen Gestalt der Strohhalme, die den Zusammenhalt grösserer Streumassen und nachher des Mistes bewirkt, während die losen Blätter Nichts von diesen Eigenschaften zeigen. Und doch beruht die Fähigkeit, breiige Excremente festzuhalten und so das rasche Fortschaffen derselben aus dem Stalle in die Mistgrube zu gestatten, wesentlich auf dieser Consistenz des Streumaterials.

Indessen werden die Verhältnisse, welche alle bei Beurtheilung dieser Dinge Berücksichtigung erheischen, dermassen complicirt, dass eine theoretische Behandlung derselben keinerlei Nutzen verspricht. Wir werden daher hier und in Zukunft über dergleichen Punkte rasch hinweggehen, da es sich in unserer Darstellung nicht darum handeln kann, eine vollständige Dünger- und Düngungslehre zu geben, sondern es lediglich unsere Aufgabe ist, diejenigen theoretischen Gesichtspunkte zu besprechen, von deren Studium Nutzen für die Praxis erwartet werden darf. Die Praxis selbst kann natürlich nicht aus theoretischen Abhandlungen erlernt werden. — Ich berufe mich auf dieses naturgemässe Verhalten, wenn der Vorwurf der Unvollständigkeit des in diesem Abschnitt Mitgetheilten ausgesprochen werden sollte.

In Bezug auf die Erdeinstreu ist weiter auf einen Umstand aufmerksam zu

*) Die Schübler'schen Resultate in Gewichtsprocenten ausgedrückt sind folgende:

Quarzsand	25%
Kalksand	29
Gyps in Erdgestalt	27
Kohlensaurer Kalk (Pulverform)	85
Lettenartiger Thon	40
Lehmartiger Thon	50
Reiner grauer Thon	70
Humus	181
Ackererde	52

Vergl. Grunds. d. Agrik.-chem. II. p. 65 u. Sprengel: Bodenkunde p. 290.

machen, der dieselbe wesentlich vor der rein vegetabilischen Streu auszeichnet. Wir haben schon hervorgehoben, dass eine der nützlichsten Wirkungen der Einstreu darauf beruht, dass sie die Excremente vor einer zu rasch und namentlich unter Verlusten von Ammoniak vor sich gehenden Zersetzung beschützt, indem sie dieselben zwischen sich vertheilt und dadurch den Verlauf der Reaction mässigt. Torf und Erde haben nun, wie wir uns aus dem letztbehandelten Abschnitt erinnern, noch die spezifische Fähigkeit, gerade dieses Ammoniak, das sich durch Zersetzung von Harnstoff, Hippursäure u. s. w. bildet, in sich festzuhalten, und vor Auswaschung und vor Verflüchtigung zu bewahren. Es bedarf nur dieses Hinweises, um inne zu werden, dass das Absorptionsvermögen dieser Materialien auch bei Verwendung derselben zur Einstreu seine guten Dienste leisten muss.

Welches von den verschiedenen Streumaterialien sich in jedem einzelnen Fall der Bewirthschaftung empfiehlt, Das lässt sich natürlich etwas allgemeiner ganz und gar nicht beantworten, denn es ist völlig abhängig von der Möglichkeit, sich dieses oder jenes Material leicht in passender Qualität zu beschaffen. Die Erdeinstreu scheint sich überall, trotzdem, dass sie theoretischer Seits als zweckdienlich empfohlen wird, nur langsam in der Praxis einzubürgern, wohl desshalb, weil diese Methode bei wenig geordneter Handhabung leicht zu einer unreinlichen wird, und der kleine Landwirth zieht, überall wo Strohmangel herrscht, die Verwendung der Laubstreu vor, obgleich ihm diese droht, vom Forstwirthe vorenthalten zu werden.

Am Allgemeinsten wird immer noch das Getreidestroh als Streu benützt und wenn wir in unseren weiteren Betrachtungen vom Stallmist zu reden haben werden, so ist darunter immer ein Mist zu verstehen, der aus Excrementen und Stroh entstanden ist. Vieles von dem dort zu Sagenden gilt übrigens auch für den Mist mit einer andern vegetabilischen Einstreu.

Ausser den Streumaterialien gibt es noch eine Reihe von anderen Substanzen, welche unter Umständen den thierischen Excrementen beigemischt werden in der Absicht, wie Dies auch für jene unter Anderem gilt, zur Conservirung der düngenden Bestandtheile beizutragen, d. h. im Wesentlichen die Verflüchtigung des Stickstoffs in der Form von Ammoniak zu verhüten. Die Beimischung solcher Substanzen zum Miste, wenn sie schon im Stalle geschieht, hat den doppelten Zweck, einmal jenen werthvollen Bestandtheil dem Dünger zu erhalten und gleichzeitig für das Wohlbefinden der Thiere, deren Gesundheit durch die ammoniakalischen Dünste leidet, zu sorgen.

Da die in Rede stehende Massregel nicht durch die Praxis auf dem roh empirischen Wege aufgefunden, sondern zuerst von Seiten der Theorie empfohlen worden ist, so sind eine Reihe von Stoffen in Vorschlag gebracht worden, die alle voraussichtlich Dasselbe leisten mussten, von denen aber nur wenige Eingang gefunden haben. Ja es haben sogar beim Experimentiren über diesen Gegenstand sich Mittel zweckdienlich erwiesen, für welche die Theorie eine Wirksamkeit nicht voraussehen liess.

Mineralsäuren wie *Schwefelsäure* und *Salzsäure* sind mehrfach zum Festhalten des Ammoniaks in dem sich zersetzenden Miste vorgeschlagen worden, haben aber trotz ihrer unverkennbaren Leistungsfähigkeit in dieser Richtung aus ziemlich naheliegenden Gründen keine allgemeinere Anwendung gefunden.

Sehr vielfach hat sich indessen der *Gyps,* welcher sich der Theorie nach mit kohlensaurem Ammoniak zu kohlensaurem Kalk und schwefelsaurem Ammoniak umsetzt *), Eingang verschafft. Versuche von Grouven **), mit Schaf- und Pferdemist angestellt, lehren u. a. in der That, dass das Bestreuen mit Gyps den vorausgesehenen Erfolg hat ***), wenn nur die Berührung zwischen Gyps und Mist eine Zeit lang gedauert hat. In neuerer Zeit empfiehlt man auch wohl statt des Gypses die schwefelsaure Kali-Magnesia, welche voraussichtlich denselben Erfolg hat und sich besonders da empfiehlt, wo man gleichzeitig eine Kalidüngung verabreichen will. Ob die Anwesenheit des Gypses im Dünger auch ausser seiner Fähigkeit, den Stickstoff zu conserviren, noch sonst den Düngewerth erhöht, — diese Frage fällt ganz zusammen mit einer später zu behandelnden, nach der Wirksamkeit der reinen Gypsdüngung †). Vor der Hand können wir dieselbe dahin beantworten, das Dies in vielen Fällen allerdings der Fall sein wird.

Das schwefelsaure Eisenoxydul (Eisenvitriol), das zur Desinfection menschlicher Excremente mit grossem Vortheil angewendet wird, scheint sich zur Einstreu in den Stallungen, trotz seiner raschen und vollkommenen Wirkung — wohl wegen des zu hohen Preises — nicht zu empfehlen ††).

Alle diese Mittel, die durch Bindung des bei der Zersetzung des Mistes freiwerdenden Ammoniaks gleichzeitig conservirend und desinficirend wirken, haben natürlich nur eine Bedeutung, wenn eine Einstreu gewählt wurde, die nicht schon selbst in dieser Richtung wirkt. Wir haben erwähnt, dass die Erdstreu und die Torfstreu durch das ihnen eigenthümliche Absorptionsvermögen schon selbst das Festhalten des Ammoniaks in genügender Weise besorgen, und in diesem Falle, sowie bei einer aus Stroh und Erde gemischten Einstreu, wie sie †††) empfohlen worden ist, wird die Verwendung von Gyps in dieser Richtung keinen weiteren Vortheil gewähren.

Schliesslich möchte ich einige lehrreiche Versuche von E. Wolff §) hier anführen, welche uns über die Conservirung der Bestandtheile des Mistes durch den Gyps und durch einige andere Stoffe Aufschluss verschaffen. Derselbe überliess frischen Mist, der analysirt worden war, unter sehr verschiedenen Bedingungen der Verwesung. Eine Portion wurde im Freien „verrotten" gelassen, vier andere unter Dach aufbewahrt, drei davon mit verschiedenen Zusätzen, auf ein Kubikfuss Mist 150 Grm. Holzkohle, 250 Grm. Aetzkalk und 200 Grm. Gyps versehen. Nach

---

*) Uebrigens kann je nach Umständen auch die entgegengesetzte Wechselzersetzung eintreten, und da diese Umstände noch nicht genau studirt sind, so ist es von vorneherein schwierig, im einzelnen Falle die Wirkung vorauszusehen. Vergl. über diesen Gegenstand besonders Mulder: Chemie der Ackerkrume III. p. 75 u. f.

**) Vergl. Wilda's Landw. Centralblatt. 1861. p. 283.

***) Hinsichtlich der weit höheren Düngebefähigung des gegypsten Schafdungs vergl. die Versuche Christiani's bei Heiden: Düngerlehre II. p. 92.

†) Vergl. die achtunddreissigste Vorlesung.

††) Ausser den Genannten sind noch kalihaltige Alaunabfälle, schwefelsaure Magnesia und andere Desinfectionsmittel vorgeschlagen worden. Vergl. Heiden: Düngerl. II. p. 67.

†††) Vergl. Pohlenz ebenda p. 68.

§) Landw. Versuchsst. 1859. p. 141 u. f.

15 Monaten waren noch folgende (in Procenten der ursprünglich vorhandenen) Mengen von einzelnen Stoffen vorhanden.

	Im Freien.	Unter Dach.			
		Ohne Zusatz.	Mit Kohle.	Mit Kalk.	Mit Gyps.
Feuchter Mist	46,9 %	48,8 %	45,2 %	41,1 %	47,6 %
Trockensubstanz	34,2 %	42,6 %	42,7 %	—	—
Organische Substanz	25,2 %	33,8 %	34,8 %	44,0 %	40,0 %
Stickstoff	44,1 %	67,6 %	71,0 %	92,5 %	77,5 %
Wasser	52,1 %	51,3 %	45,1 %	33,9 %	46,2 %

Was uns hier von diesen Zahlen interessirt, ist die Einwirkung, welche die verschiedenen Zusätze auf den Gang der Verwesung ausgeübt haben. Dieselbe wird ersichtlich aus der Vergleichung der Zahlen der dritten, vierten und fünften Columne mit den der zweiten, und wir bemerken, wenn wir diese Vergleichung anstellen, dass die Beimischung von Kohlenpulver ohne Einwirkung geblieben ist auf die Verwesung der organischen Substanz des Mistes. Die für den Stickstoff sich ergebende Differenz können wir unberücksichtigt lassen und somit auch aussprechen, dass diese Beimischung nicht wesentlich vor Ammoniakverflüchtigung geschützt habe. *)

Der Zusatz von Aetzkalk dagegen und von Gyps hat erheblich den Verlust an organischer Substanz herabgedrückt, ersterer den Stickstoff fast vollkommen, letzterer wenigstens mit deutlichem Erfolge zurückgehalten. Eine Theorie dieser Wirksamkeit wird für den Aetzkalk schwierig aufzustellen sein, ja man sieht vielfach (und z. Th. mit Recht) den Kalk als einen die Verwesung beschleunigenden Körper an. Die Wirksamkeit des Gypses dürfte, soweit sie sich auf die Conservirung des Stickstoffs erstreckt, aus den vorhin geltend gemachten Gesichtspunkten ihre Erklärung finden.

Ich habe absichtlich diese Versuchsresultate hierher gesetzt, um zu zeigen, wie wenig noch die Theorie in diesen Dingen zu leisten vermag, und wie es nöthig ist, bei jeder neu auftauchenden Frage sich durch das direkte Experiment Aufschluss zu verschaffen. Der Aetzkalk müsste offenbar der Theorie nach gerade das gebildete Ammoniak aus seinen Verbindungen frei machen und so Stickstoffverluste veranlassen, und er thut Dies ohne Zweifel auch in allen Fällen, wo schon vor seiner Zumischung erhebliche Mengen von Ammoniaksalzen gebildet waren. Man hätte demnach im Voraus wohl von seiner Anwendung sich gerade das Entgegengesetzte versprochen. Allein es scheint, dass der Kalk noch unzersetzte stickstoffhaltige organische Stoffe vor Zerfall schützt (freilich auf welche Weise ist nicht bekannt) und vielleicht auch durch Prädisposition zur Salpeterbildung wirkt. Uebrigens darf man die ziemlich allein stehende Erfahrung noch nicht mit allzu grosser Zuversicht zu dergleichen Schlüssen benutzen.

Der Aetzkalk ist ausserdem von anderer Seite **) geradezu, um der Verflüchtigung des Ammoniaks in den Ställen vorzubeugen, empfohlen worden. Die Versuche jedoch, auf die sich diese Empfehlung stützt und welche mit Harn, der vergleichungs-

*) Vergl. die achtundzwanzigste Vorlesung p. 90 Anm. ***).

**) Vergl. Payen (Heiden's Düngerlehre p. 76 u. f.)

weise ohne Zumischung, mit Kreide und mit Aetzkalk vermischt sich selbst überlassen blieb, angestellt worden sind, sprechen gar nicht sehr entschieden für dessen Anwendbarkeit, indem sie deutlich zeigen, dass in Harn, in welchem sich durch Gährung viel Ammoniak gebildet hat, die Verflüchtigung dieses Ammoniaks durch Aetzkalk beschleunigt wird, während allerdings, wo Dies nicht der Fall war, die Kreide und noch mehr der Aetzkalk eine conservirende Wirkung auszuüben vermochte.

Demnach — und diese Resultate sind recht gut mit den Wolff'schen in Einklang zu bringen — hängt es ganz und gar von den Umständen der Anwendung des Aetzkalkes ab, ob man von demselben eine conservirende Wirkung für den Stickstoff des Düngers oder ein Austreiben desselben zu erwarten hat.

Die Wolff'schen Resultate für die Wirkung des Gypses auf den verwesenden Einflüssen ausgesetzten Mist zeigen ausserdem, dass die Conservirungsfähigkeit desselben nicht so vollkommen ist, als man vorauszusetzen geneigt ist. Wahrscheinlich treten bei der Wechselwirkung der Bestandtheile eines gegypsten Mistes auch Momente ein, wo jene umgekehrte Zersetzung, bei der wieder Gyps sich bildet und kohlensaures Ammoniak in Freiheit gesetzt wird, vór sich geht.

Vierunddreissigste Vorlesung.

Der Stalldünger. — Seine Veränderung.

Nachdem wir jetzt die einzelnen Elemente nach ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften kennen gelernt haben, aus deren Vereinigung der Stallmist entsteht, wollen wir heute einen Blick auf die Natur und das Verhalten dieses letzteren werfen. Wir können dabei aber selbstverständlich nicht alle verschiedenen Streumaterialien berücksichtigen, noch von dem etwaigen Zusatz eines Conservirungs- oder Desinfektionsmittels Notiz nehmen, sondern legen einfach diesen Betrachtungen die Annahme der Verwendung des für unsere Verhältnisse gewöhnlichsten Streumaterials, des Getreistrohs zu Grunde.

Die verschiedenen Mistarten, wie sie von den einzelnen Haussäugethieren gewonnen werden, zeigen natürlich entsprechend der Zusammensetzung der Excremente dieser Thierarten ziemlich verschiedene Eigenschaften. Weiter wird das Verwesungsstadium des Mistes, namentlich, wenn wir auf den noch vorherrschend üblichen Brauch, keine conservirende Zuthaten zu verwenden, Rücksicht nehmen, für dessen Zusammensetzung und Eigenschaften sehr in Betracht kommen. Es wird also bei der Besprechung des Stallmists einmal zwischen *Pferdemist, Rindviehmist* etc., andernseits zwischen *frischem Mist, vorrottetem Mist* unterschieden werden.

Allein eines noch weiteren Umstandes bleibt hierbei zu gedenken; der Stallmist pflegt nach seinen bei uns üblichen Behandlungsmethoden sich in zwei ungleich ge-

artete Theile zu scheiden, die auch häufig für sich verwendet und mit verschiedenen Namen belegt werden. Der Mist lässt, auf der Düngerstätte liegend, einen Theil seiner flüssigen Theile fliessen, und in geordneten Wirthschaften wird dieser flüssige Theil durch eigene Vorrichtungen sorgsam aufgesammelt; oder aber der Stall ist schon so eingerichtet, dass ein Theil der flüssigen Excremente nicht von der Streu aufgesogen wird, sondern direkt durch eigens zu diesem Zwecke angelegte Rinnsale zusammenläuft; aber auch in diesem Falle tritt in der Regel noch eine Wechselwirkung der so gesammelten flüssigen Auswurfstoffe mit dem festen Mist ein, indem häufig durch Arbeiten mit der Pfuhlpumpe für eine Anfeuchtung des Mistes durch jene gesorgt wird. Also auch in diesem Falle besteht jener flüssige Theil des Stallmists nicht lediglich aus dem thierischen Harn, sondern aus dem Harn, der längere oder kürzere Zeit die festen Excremente und die Einstreu ausgelaugt hat, auch wohl auf den dachlosen Düngerstätten durch Regen vermehrt worden ist. Da nun in dem auf der Düngerstätte lagernden Miste eine grosse Zahl von chemischen Processen unausgesetzt verlaufen, da ferner ein Gleiches für die in der Flüssigkeit gelösten Stoffe zu sagen ist, so wird sich jener flüssige Theil des Mists sehr wesentlich von dem ursprünglichen Harn in seiner Zusammensetzung unterscheiden können.

Der noch übrig bleibende feste Theil des Mists, der nur vermöge seiner wasserhaltenden Kraft mit Flüssigkeit imprägnirt ist, wird als *Stallmist* im engeren Sinne des Worts, die abgelaufene Flüssigkeit an verschiedenen Orten als *Jauche, Pfuhl, Gülle, Adel* bezeichnet.

Die Zahlen, die nun hier für die einzelnen Mistarten in den verschiedenen Stadien mitgetheilt werden können, sind der Natur der Sache nach weite Grenzen, innerhalb deren sich die Wahrheit bewegt; sie sind desshalb nicht ohne Weiteres einer Anwendung zu wirthschaftlichen Schlussfolgerungen fähig. Wir werden vielmehr nachher einen anderen Weg kennen lernen, auf dem es mit grösserer Sicherheit möglich ist, sich im einzelnen realen Fall Aufschluss über die Zusammensetzung des Mistes zu verschaffen.

Wenn wir uns erinnern, was in der letzten Vorlesung über die Abhängigkeit der Zusammensetzung der Excremente von der Ernährung der Thiere gesagt wurde, und welcher Schluss daraus auf die Constanz der Zusammensetzung dieser Excremente bei den einzelnen Thierarten gezogen wurde, und hinzufügen, dass die Einstreu in einer geordneten Wirthschaft sehr gleichmässig und gleichartig zu geschehen pflegt, so wissen wir schon im Voraus, welche einzelnen Mistarten wir gleichmässiger zusammengesetzt und geeigenschaftet finden werden. Pferde werden meistens Jahr aus Jahr ein in derselben Weise gefüttert, bei Schafen ist auch noch eine verhältnissmässige Gleichmässigkeit in der Ernährung die Regel, während beim Rindvieh und noch mehr bei den Schweinen, auch wenn man bei ersterem nach rationellen Principien füttert und die vorgeschriebenen Normen genau einhält, sehr bedeutende Verschiedenheiten namentlich in Bezug auf die Aschenbestandtheile der Futterstoffe an der Tagesordnung sind.

Wir werden also für die Zusammensetzung des Pferdemistes weit eher Zahlen anzugeben im Stande sein, die als ein Anhaltspunkt dienen können, als Dies beim Rindviehmist oder gar beim Schweinemist möglich ist. — Man beachte folgende Angaben:

Pferdemist.

	Tägl. Excremente eines Pferdes *).	Tägl. Einstreu ***) (4 Pfd. Weizenstroh).	Frischer Mist.	procentisch im Durchschnitt.
Wasser	19,93—23,5 Pfd.	0,82 Pfd.	20,7 —24,3 Pfd.	70,0%
Organ. Substanz	4,4 — 6,3	2,97	7,4 — 9,4	26,3
Stickstoff	0,15— 0,22	0,02	0,18— 0,25	0,67
Kali	0,25— 0,32 **)	0,02	0,27— 0,34	0,94
Phosphorsäure	0,03— 0,04 **)	0,01	0,04— 0,05	0,14
Gesammtasche	0,54— 1,35	0,23	0,77— 1,58	3,7
Summa	25,1 —31,2	4,0	29,1 —35,2	100

Man sieht, dass schon bei Berücksichtigung einiger weniger Angaben, die Zahlen sich zwischen sehr erheblichen Differenzen bewegen, und dabei ist noch nicht einmal wahrscheinlich, dass die äussersten Grenzfälle erreicht sind. Die mitgetheilten Zahlen haben auch noch eher einen Werth, um eine Vorstellung zu gewinnen von der von einem Pferde bei der üblichen Einstreu zu erhaltenden Mistmenge, als von der Zusammensetzung dieses Mistes.

Dies gilt nun noch in weit höherem Grade von dem Rindviehmist, und um in den Angaben über dessen Menge und Zusammensetzung nicht völlig in der Luft zu stehen, ist es nöthig, einen mehr präcisirten Fall der Ernährung ins Auge zu fassen, der dann freilich keinerlei Verallgemeinerung fähig ist. Es kommt für die Menge und Zusammensetzung des Rindviehmistes ausser der Verschiedenartigkeit einer bei ein und derselben Fütterungsnorm und ein und demselben Nährstoffverhältniss verabreichten Futtermasse, noch ganz besonders in Betracht, dass beim Rinde die Tendenz die Viehaltung eine ganz verschiedene ist, dass der Landwirth vom Rindvieh entweder Milchproduktion, Fleischproduktion oder aber Arbeit verlangt und dass je nach dieser Tendenz die Zusammensetzung der Futtermasse sich nach einer andern Fütterungsnorm richtet. — Ausserdem macht das beim Rindvieh so ausserordentlich verschiedene Lebendgewicht allgemeinere Angaben unmöglich.

Ochsenmist

bei Erhaltungsfutter auf Thiere von 1000 Pfd. Lebendgewicht. †)

	Tägl. Excremente eines Ochsen.	Tägl. Einstreu (6 Pfd. Weizenstroh).	Frischer Mist.	Procentisch.
Wasser	54,4 Pfd.	1,2 Pfd.	55,6 Pfd.	81,3%
Organ. Substanz	6,70	4,51	11,2	16,4
Stickstoff	0,22	0,03	0,25	0,37
Asche	1,28	0,32	1,6	2,3
Summa	62,4	6,0	68,4	100%

*) Nach den von Hofmeister und Boussingault gelieferten Zahlen, vergl. Heiden: Düngerlehre II. p. 58.

**) Die betreffenden Zahlen für die Gesammtausleerungen unbekannt. Obige sind aus den Angaben für Koth und Harn interpolirt.

***) In diesen Angaben wurden kleine Aenderungen nach Durchschnittsanalysen vorgenommen.

†) Die hier mitgetheilten Zahlen sind aus den zahlreichen Versuchen von Henneberg, Stohmann und Rautenberg als Durchschnittszahlen berechnet und in Heiden's Düngerlehre II. p. 38 und 70 mitgetheilt. Dieselben sind also Mittelwerthe für die Ernährung

Ganz anders gestalten sich aber diese Durchschnittszahlen bei Mastfutter. Eine Mastfuttermischung hat den Zweck, nicht bloss ein Thier auf dem Körpergewicht zu erhalten, sondern bei ihm Zunahme, Fleisch- und Fettansatz zu bewirken, in deren Produktion ja eben der Sinn der Mast liegt. Dazu ist aber einmal nothwendig, wie Jedermann weiss, *mehr* zu füttern, als wo man einen Körperzuwachs nicht beabsichtigt, und zweitens, wie aus der Theorie der Ernährung hervorgeht, wenigstens zweckdienlich in einem andern Nährstoffverhältniss zu füttern. Was uns von dieser Abänderung der Fütterungsnorm für unseren Zweck interessirt, ist, dass die verabreichte Futtermischung bei der Mast stickstoffreicher ist, als das Erhaltungsfutter von Arbeitsthieren.

Nun findet zwar bei der Mast Ansatz statt, und desshalb ist es nicht erlaubt, so ohne Weiteres aus der veränderten Fütterungsnorm auf die Veränderung in Menge und Beschaffenheit der Excremente einen Schluss zu machen, weil eben ein Theil der Futterstoffe nicht wieder durch Blase und Darm abgeschieden wird. Allein es genügt an diesem Orte zu bemerken, dass ein vergrösserter Ansatz auch mit einem noch weit mehr vergrössertem Umsatz zum grössten Leidwesen des Viehmasters unabänderlich verknüpft ist, dass eine reichere und stickstoffhaltigere Futterration trotz des Ansatzes auch eine reichere und stickstoffhaltigere Ausscheidung von Excrementen zur Folge hat. Wir theilen diesen Satz hier mit, ohne es für nöthig zu erachten, dabei auf dessen Begründung, auf die Gesetze des Fleisch- und Fettansatzes näher einzugehen.

Ochsenmist bei Mastfutter
auf Thiere von 1000 Pfund Lebendgewicht. *)

	Tägl. Excremente eines Ochsen.	Tägl. Einstreu (6 Pfd. Weizenstroh).	Frischer Mist.	Procentisch.
Wasser	72,8 Pfd.	1,2 Pfd.	74,0 Pfd.	84,1%
Organ. Substanz	7,31	4,51	11,8	13,4
Stickstoff	0,36	0,03	0,39	0,45
Asche	1,81	0,32	2,13	2,5
Summa	81,9	6,0	87,9	100%

Die grössere Mistmenge, die bei der gleichen Einstreu bei Mastfütterung auf die gleiche Häupterzahl gleich schwerer Thiere fällt, ist hieraus deutlich ersichtlich. Der relativ höhere Stickstoffgehalt der Mastexremente ergibt sich aus der Vergleichung der beiden gegebenen Verhältnisszahlen. **) Die Gesammtausscheidungen

mit sehr verschiedenen Futtermitteln, nicht aber für jede mögliche Art der Ernährung, da die Thiere dabei ihr Körpergewicht auf gleicher Höhe erhielten und keine andere Stoffproduction vollzogen, als die der Excremente.

*) Durchschnittszahlen aus den Versuchen derselben Forscher; vergl. die vorige Anmerkung.

**) Man pflegt, gestützt auf den hohen Düngewerth der Entleerungen von Thieren bei reichlicher oder reichhaltiger Fütterung, häufig zu argumentiren, dass eine solche Fütterung schon aus dem Grund ganz im Allgemeinen die rationellere wäre, weil Das, was nicht zum Ansatz diene, dem Dünger zu Gute käme. Diese Folgerung ist aber augenscheinlich eine jener vielen scheinbaren Stützen, welche man dem grossen Publikum gegenüber einer prak-

bei Erhaltungsfutter enthielten nur durchschnittlich 0,35 % Stickstoff, bei Mastfutter 0,44 %.

Wir verzichten darauf, analoge Mittheilungen über den Schweinemist und Schafmist zu machen, da bei dem ersteren Thiere die Ernährung viel zu ungleich ist, um den so erhaltenen Zahlen noch irgend einen Werth beilegen zu können, weil beim Schafe häufig keine so regelmässige Einstreu vorgenommen wird, um die Resultate, die wir für die Ausleerungen dieser Thiere schon in der vorigen Vorlesung mitgetheilt haben, nicht schon an und für sich zu einem Ueberblick über das Wesen des Schafmistes genügend erscheinen zu lassen.

Wir gehen nun zu der Methode über, welche für die Ermittelung der Zusammensetzung des frischen Mistes als die rationellste erscheint, zur direkten Berechnung dieser letzteren aus Fütterung und Einstreu. Dass eine derartige Ermittelung theoretisch möglich ist, versteht sich nach dem früher über Zusammenhang zwischen Fütterung und Ausscheidung Gesagten von selbst. Ihre praktische Zulässigkeit beruht auf dem Besitz zuverlässiger Durchschnittsanalysen der Futterstoffe und unserer hinreichenden Bekanntschaft mit den Hauptsätzen des thierischen Stoffwechsels, — auf dem Besitz von Zahlen in dieser Richtung, die wenigstens relativ eine weit grössere Sicherheit gewähren, als etwa Durchschnittsanalysen des Mistes selbst bieten können.

Bei Thieren auf dem Erhaltungsfutter gestaltet sich diese Methode am Einfachsten. Bei diesen, also bei Pferden, Arbeitsochsen (auch die wollproducirenden Schafe können ohne weit fehlzugreifen hierhergerechnet werden) weiss man mit Bestimmtheit, dass aller Stickstoff und alle Aschenbestandtheile der verabreichten Futterstoffe in Harn und Koth wiedererscheinen müssen. Das Deficit an organischer Substanz (welche ja theilweise durch den Stoffwechsel des thierischen Körpers zerstört wird) lässt sich ebenfalls aus Erfahrungen, die man bei exakten Fütterungsversuchen in hinreichender Anzahl gemacht hat, für eine jede Thierklasse auf einem jeden Ernährungszustand annähernd genau beurtheilen. Weiter rechnet man dann die Bestandtheile des Streustrohs, die man ebenfalls aus Durchschnittsanalysen hinreichend kennt, unverändert hinzu, und hat so alle Daten in der Hand, deren man bedarf, um die in einer (in einer gegebenen Periode producirten) Mistmenge enthaltene organische Substanz, Stickstoff und Aschenbestandtheile kennen zu lernen. Um freilich den procentischen Gehalt des Mistes an allen diesen düngenden Stoffen zu wissen, müsste man entweder dessen durchschnittlichen Wassergehalt, oder die auf eine gewisse Zeit entfallende Mistmenge kennen. Allein es handelt sich in der Regel gar nicht um die procentischen Mengen an einzelnen Bestandtheilen, sondern lediglich um die Kenntniss von der absoluten Menge dieser Bestandtheile, welche in einem bestimmten Misthaufen sammt Jauchengrube vorhanden sind. Das Wasser unterliegt ja doch in seiner im Miste vorhandenen Menge den allergrössten Zufälligkeiten und periodischen Schwankungen, und die Kenntniss dieses Gehalts von heute würde schon für morgen keinen Werth mehr haben.

---

tisch richtigen Lehre leiht, denn es kann ja nicht verborgen bleiben, dass der Werth eines Futtermittels als Düngstoff ein ungleich niedrigerer ist, denn als Nahrungsstoff. So selbstverständlich diese Bemerkung Manchem erscheinen mag, so ist sie doch bei dem ausgedehnten Missbrauch, welcher von jenem Scheingrunde gemacht wird, nicht ganz überflüssig.

Wir haben früher angegeben, dass die organische Substanz des Futters beim Durchgang durch den Körper derjenigen Thiere, mit denen wir es hier zu thun haben, und bei den gewöhnlichen Ernährungsverhältnissen sich um die Hälfte vermindere. Diese ungenaue Angabe konnte uns damals genügen, hier müssen wir etwas genauer verfahren und besonders die Ernährung durch Erhaltungsfutter berücksichtigen. Man pflegt die Zahlen, welche man in dieser Richtung für die einzelnen Ernährungszustände ermittelt hat, auf die Trockensubstanz zu beziehen, so dass also die Aschenbestandtheile, die beim Durchgang durch den Organismus keine Verminderung erleiden, mit hinzu addirt werden, wodurch der Ausnutzungscoefficient etwas herabgedrückt erscheint.

Das *Pferd* scheidet im Mittel von der Trockensubstanz des Futters 47,4 %*) durch Darm und Blase wieder ab, und aus dieser Angabe kann man leicht mit Hülfe der Zahl des Aschengehalts des Futters die Verminderung an organischer Substanz, wie wir sie im frischen Mist erwarten dürfen, berechnen.**) Der *Ochse auf dem Erhaltungsfutter* scheidet nach den schon benutzten Durchschnittszahlen von Henneberg, Stohmann und Rautenberg 48,96 % der Trockensubstanz in den Auswurfstoffen ab. Für das *Schaf* ist die Zahl 49,3 % als Mittelzahl gefunden worden.

Es braucht kaum hinzugesetzt zu werden, dass diese Zahlen in Wirklichkeit grossen Schwankungen ausgesetzt sind, dass z. B. ein Futtergemisch, das viele unverdauliche Stoffe neben den zur Erhaltung des Körpergewichts nothwendigen leicht verdaulichen enthält, jene Zahl bedeutend vergrössert, und umgekehrt. Als gewöhnliche Schwankungsdifferenz kann man bei genannten Thieren 4—6 % bezeichnen, woraus also doch hervorgeht, dass man bei Acceptirung der Durchschnittsziffer im Allgemeinen keine grösseren Fehler bei Berechnung der Trockensubstanz der Excremente machen wird, als solche von 2—3 %. Uebrigens kann man, wenn man Lust hat, für die einzelnen Futtermischungen das Vorhandensein einer kleinern oder grössern Menge schwer verdaulicher Stoffe noch besonders berücksichtigen.

Anders, doch in beinahe ebenso einfacher Weise gestaltet sich die Berechnung des Mistes aus verabreichter Fütterung und Streu bei denjenigen Thieren, von welchen wir noch eine andere Stoffproduktion erwarten, als Ausscheidung von Excrementen, — bei *Jungvieh*, *trächtigen Mutterthieren*, *Milchvieh* und *Mastvieh*. Hier kann die Berechnung der Ausscheidungen gerade wie dort angestellt werden, nur dass vom Gehalt der Futterstoffe an Stickstoff und einzelnen Aschenbestandtheilen, der Gehalt vom Körperzuwachs, von gelieferter Milch, von Fleisch- und Fettansatz an diesen Stoffen, welchen wir ja auch aus Durchschnittsanalysen kennen, abgezogen werden muss, um den Gehalt der Excremente an denselben zu kennen. Für Bestimmung der organischen Substanz der Auswurfstoffe ist dann weiter zu berücksichtigen, dass der Ausnutzungscoefficient bei diesen Thieren, die nicht auf dem Erhaltungszustand sich befinden (man kann auch für das Milchvieh diese Ausdrucks-

*) Ueber diese und die folgenden Angaben vergleiche bei Heiden: Düngerlehre II. p. 21 und 38 u. f.

**) Vom Kohlenstoffgehalte der Nahrung sind beim Pferde durchschnittlich 42,6% in den Excrementen enthalten. Siehe ebenda p. 21.

weise im weiteren Sinne des Worts gelten lassen), ein anderer ist, als die vorhin mitgetheilten Zahlen ergaben. Das „Warum" dieser Thatsache ist leicht zu verstehen, auch wenn man davon absieht, dass die Thiere, um sie zum Stoffansatz zur Milchproduktion zu veranlassen, häufig mit Futterstoffen von anderer Mischung und höherer Verdaulichkeit ernährt werden, indem man einfach bedenkt, dass durch Ansatz von organischer Substanz der Trockensubstanz der Excremente noch etwas mehr entzogen wird, als wenn diese Stoffe verathmet worden wären.

So sehen denn wir in der That bei Mastochsen, für die das Ebengesagte genau zutrifft, nach den Untersuchungen von Henneberg, Stohmann und Rautenberg den durchschnittlichen Procentsatz der in den Excrementen erscheinenden Trockensubstanz etwas kleiner werden, als bei Ochsen auf dem Erhaltungsfutter (trotz der in ersterem Falle relativ grösseren Menge von Aschenbestandtheilen). Der Procentsatz des Wiedererscheinens der verabreichten Trockensubstanz bei Mastfutter ward im Durchschnitt gefunden zu 47,23%. Mit dieser Zahl gelingt es dann leicht ganz wie früher, die organische Substanz des in einer bestimmten Periode producirten Mistes zu berechnen, und dabei ist wohl die Bemerkung überflüssig, dass in diesem Falle die organische Substanz des Ansatzes nicht besonders in Abrechnung gebracht zu werden braucht, da jene Zahl ja aus der directen Untersuchung der Trockensubstanz der Auswurfstoffe und nicht aus der beobachteten Perspiration ermittelt worden ist.

Für die Ernährung trächtiger oder milchender Mutterthiere (und ebenso wenig für die des Jungviehs verschiedener Thierklassen) sind die betreffenden Zahlen der Ausnützung der organischen Substanz der Futterstoffe noch nicht in der Weise berechnet worden. Es ist in Betreff solcher Thiere immerhin darauf hinzudeuten, dass ja auch die Differenzen für das Verhältniss des Wiedererscheinens der gefütterten Trockensubstanz in den Excrementen bei den Ochsen nicht sehr erheblich gewesen sind, ob diese nun auf dem Erhaltungsfutter sich befanden oder gemästet wurden, dass ja vielmehr die Durchschnittszahlen für dieses Verhältniss innerhalb die Grenzen desselben Verhältnisses bei ein und derselben Fütterungsweise fielen, und daraus geht hervor, dass man auch für Milchvieh und dergl. derartige Zahlen benutzen kann. umsomehr, als es bei der Ermittelung der Düngebestandtheile des producirten Mistes gar nicht so ängstlich auf Etwas mehr oder weniger organische Substanz ankommt. da diese ja doch im Miste, selbst bei dessen alsbaldiger Verwendung noch eine weitere Veränderung (Verminderung durch den Verwesungsprocess) erleidet, die sich aller Kontrole entzieht.

Die hier beschriebene Methode der Berechnung der düngenden Bestandtheile des Mistes aus der Fütterung (und der Einstreu), welche als viel rationeller bezeichnet werden muss, als die Benutzung von Tabellen über die Zusammensetzung der einzelnen Stallmistsorten, gilt überhaupt in dieser Form nur für den *frischen Mist.* Wird derselbe unmittelbar auf das Feld gebracht, wie Dies für den Schafmist häufig und auch in einzelnen Wirthschaften oder gewissen Jahreszeiten für den Rindviehmist geschieht. so weiss man aus jener Berechnung direkt, was man dem Felde einverleibt hat, obschon freilich strenggenommen schon bei mehrtägigem Liegen des Mistes unter den Thieren, das gerade in jenen Fällen unvermeidlich erscheint, einige Zersetzungen und in

Folge dessen Verluste an einzelnen Substanzen, selbst bei Anwendung von Conservirungsmitteln stattfinden.

Von tiefgreifenderer Bedeutung für die Zusammensetzung des Stallmistes werden aber die Veränderungen, welche derselbe beim Lagern in der Düngergrube unfehlbar erleidet. Manche dieser Veränderungen sind unbedingt schädlich für die düngende Wirkung des Mistes *), und dieselben werden alsdann in den sogenannten rationellen Wirthschaften durch zweckdienliche Einrichtung der Miststätte möglichst zu beschränken gesucht. Eine solche zweckmässige Einrichtung der Miststätte besteht unter Anderem in einem vom technischen Standpunkte hier nicht zu erörternden Schutze gegen Sonne und Regen (durch Umpflanzung und Ueberdachung) und in der völligen Undurchlässigkeit derselben. **)

Setzen wir zunächst eine solche Einrichtung voraus, so ist kein anderer Stoffverlust des auf der Düngerstätte lagernden Mistes sammt Jauche denkbar, als der durch Verflüchtigung. Die organische Substanz des Düngers verwest — und diese Verwesung, durch die ein Theil der in der Ackererde nur schwer verweslichen organischen Stoffe, wie unverdaute Futterstoffe der Darmausleerungen und namentlich das Streustroh in zersetzbare Formen übergeführt wird, liegt zum Theil durchaus in der Absicht des Landwirths, — dieselbe erzeugt dabei Kohlensäure und Ammoniak; erstere entweicht ziemlich vollständig, letztere auch bei Bestreuen mit Gyps, Anfeuchten des Mistes mit der Jauche durch Ueberpumpen und Schutz vor der Sonne zu einem kleinen Theile. Auch der völlig rationell behandelte Mist wird während der Verwesung, während er in den sogenannten *„verrotteten“* Zustand übergeht, absolut kohlenstoffärmer und etwas stickstoffärmer, während er bei gleichzeitigem Verlust von Wasser relativ an dem letzteren Bestandtheile sich bereichert. Für beide Bestandtheile, organische Substanz und Stickstoff wird also die Methode der Berechnung aus Fütterung und Einstreu, von der wir eben gesprochen haben, nicht mehr zulässig sein, sobald der frische Mist angefangen hat, sich in der beschriebenen Weise zu verändern. Für den Stickstoffgehalt wird dieselbe, gute Conservirungsmethoden vorausgesetzt, noch eher Anhaltspunkte gewähren.

Anders ist es mit den Aschenbestandtheilen des Mistes. Eine Verminderung derselben in einem gegebenen Mistquantum ist nur denkbar, wenn derselbe im Hofe auf einem durchlässigen oder geneigten Terrain längere Zeit liegt und allda vom Regen ausgelaugt wird, nicht aber auf einer auch nur mässigen Ansprüchen genügenden Düngerstätte. Hier ist es in der That möglich, jene Methode der Berechnung, also z. B. für Kali und Phosphorsäure auch noch für den verrotteten Mist anzuwenden, vorausgesetzt natürlich, dass man brauchbare Durchschnittsanalysen für den Gehalt an Aschenbestandtheilen der Futterstoffe und des Einstreumaterials besitzt. Man wird in diesem Falle für ein in einer gewissen Zeit producirten Mistmenge angeben können, dass so und so viel von den und den Aschenbestandtheilen in der-

*) Moscrop hat (vergl. Jahresbericht der Agrik.-chemie 1865 p. 275) vergleichende Düngungsversuche mit Stallmist ausgeführt, welcher in einem Falle in einer bedeckten Düngergrube, im andern Falle in einer unbedeckten der Verwesung überlassen worden war. Durch den ersteren wurden ceteris paribus sehr bedeutende Mehrerträgnisse hervorgebracht.

**) Vergl. über Einrichtung von Düngerstätten Heiden: Düngerlehre II. p. 97—109.

selben vorhanden sein müssen. Der Procentsatz an diesen Bestandtheilen ist aber natürlich auf diese Weise nicht zu ermitteln, derselbe wird vielmehr immer höher und höher, je länger man den Mist unter den bezeichneten Umständen verrotten lässt, da Wasser und organische Substanz in starker Abnahme begriffen sind.

Sind dagegen die gemachten Voraussetzungen nicht erfüllt, wird der Mist direkt den austrocknenden Strahlen der Sonne ohne genügende Anfeuchtung ausgesetzt, so ist der Stickstoffverlust ein weit grösserer, als bei jener sorgsameren Aufbewahrung. Ist derselbe dem Regen zugänglich und ruht er dabei gleichzeitig auf einer durchlässigen oder sonst leicht Abfluss gestattenden Unterlage, so wird er — zum grössten Schaden für dessen Düngewerth — an allen leichtlöslichen Bestandtheilen, der ganzen Jauche beraubt. In diesem Falle verliert der Mist nicht blos eine grosse Menge stickstoffhaltiger löslicher Bestandtheile (und zwar nicht nur die des Harns, sondern ebenso, was durch den Verwesungsprocess aus den festen Excrementen daran löslich geworden ist), er verliert auch eine grosse Menge wirksamer Aschenbestandtheile, namentlich Kalisalze. Einen unter solchen gravirenden Umständen verrotteten Mist, aus Fütterung und Einstreu auf seine Zusammensetzung auch nur in Bezug auf einen einzigen Bestandtheil von Düngewerth berechnen zu wollen, müsste natürlich ein vergebliches Unternehmen bleiben. Es wäre aber auch ein ganz überflüssiges Unternehmen, denn in einer Wirthschaft, wo die erste (wenigstens für unsere intensive Betriebsmethoden) rationelle Grundlage der Düngerbehandlung fehlt, da kann nicht wohl ernstlich von jenen raffinirten Methoden der Düngerwirthschaft, welche sich an Berechnungen anknüpfen, die Rede sein.

Wir werden, um uns eine Vorstellung von Zusammensetzung und Eigenschaften des verrotteten Mistes zu verschaffen, also im Ganzen nicht an die Methode jener Berechnung aus Fütterung und Einstreu halten dürfen; wir müssen vielmehr auf einem directeren Wege uns einen Einblick in jene Verhältnisse zu verschaffen suchen.

Völcker hat wohl die umfassendsten Versuche über die relative Zusammensetzung von frischem und unter verschiedenen Umständen verrottetem Hofdünger, d. i. ein Gemisch von den einzelnen Stallmistsorten, angestellt *), und wir werden die Wichtigsten der von ihm ermittelten Zahlen hier mittheilen. — Zunächst Einiges über das Verfahren, das derselbe anwendete.

Frischer Mist, bestehend aus Pferde-, Rind- und Schweinemist, wurde analysirt und drei Haufen desselben unter verschiedenen Bedingungen sich selbst überlassen. Einer wurde im Freien gegen einen Steinwall angelehnt und so den Einflüssen der Witterung ausgesetzt, ein anderer unter Dach gebracht, und, um allzugrosse Austrocknung zu verhüten, einmal mit Wasser angefeuchtet, ein Dritter im Freien ausgebreitet. Alle drei wurden von Zeit zu Zeit gewogen und Proben einer vollständigen Analyse unterworfen. Die Mittheilungen dieser Analyse würden wenig Werth haben, wenn man sich nicht vorher eine Vorstellung von dem absoluten Gewichtsverlust der einzelnen Haufen gebildet haben würde. Dieser wird durch folgende Zahlen ausgedrückt:

*) Vergl. Journ. of England. 1856. V. 17. p. 191, und Heiden: Düngerl. II. p. 118.

	I. Haufen.		II. Unter Dach.		III. Gebreitet.	
		Verlust in Procenten.		Verlust in Procenten.		Verlust in Procenten.
Gewicht des frischen Düngers	2838 Pfd.		3258 Pfd.		1652 Pfd.	
nach 6 Monaten	2026	28,6	1613	50,4	1429	13,4
nach 9 Mon. 20 Tag.	1994	29,7	1297	60,0	1012	38,7
nach 12 Mon. 12 Tag.	1974	30,8	1235	62,1	950	42,4

Diese absoluten Verluste sind, wie wir gleich sehen werden, einestheils auf Kosten von Wasser zu setzen, desshalb schreiten dieselben, z. B. bei II., nachdem einmal eine gewisse den Umständen angemessene Lufttrockene erreicht ist, nicht mehr weiter fort. Unter Dach ist selbstredend die Austrocknung eine vollkommenere, bei dem gebreiteten dagegen, da die ersten 6 Monate (der Versuch beginnt den 3. Nov.) in den regenreichen Winter fallen, anfangs sehr langsam, nachher vollkommener als bei dem nicht gebreiteten.

Die procentische Zusammensetzung des frischen Mistes war *):

Wasser	66,17%
Organische Substanz	28,24
(hiervon löslich)	2,48
Stickstoff	0,64
(hiervon als Ammoniak)	0,12
Asche	5,59

Nach 6 Monaten:

	I. Haufen.	II. Unter Dach.	III. Gebreitet.
Wasser	65,95%	56,89%	80,02%
Organische Substanz	23,50	30,06	12,62
(hiervon löslich)	4,27	4,63	1,16
Stickstoff	0,89	1,19	0,53
(hiervon als Ammoniak)	0,09	0,07	0,05
Asche	10,55	13.05	7,36

Diese Zahlen geben uns schon eine gute Vorstellung von den Veränderungen, welche der Mist in den einzelnen Fällen erlitten hat. **) Haufen I. hat seinen alten Wassergehalt bewahrt; es ist also Wasser und organische Substanz etwa in dem der Zusammensetzung des Mistes entsprechenden Verhältniss gleichmässig verschwunden. Der Gesammtverlust ist aber bedeutend, es hat also intensive Verwesung statt-

*) Die Jauche muss bei diesem Miste als theilweise abgeflossen gedacht werden, wie aus der Zusammensetzung desselben hervorgeht.

**) Uebrigens ist darauf aufmerksam zu machen, dass nicht alle mitgetheilten Zahlen eine volle Zuverlässigkeit besitzen. So ist z. B. auffallend, dass Haufen I. nach 6 Monaten den procentischen Gehalt an Aschenbestandtheilen beinahe verdoppelt hat, während der Gesammtverlust in dieser Zeit noch nicht ein Drittel beträgt. Es sind also jedenfalls Aschenbestandtheile von Aussen hinzugekommen. Dies ermahnt zu einer gewissen Vorsicht bei Benutzung der Angaben.

gefunden. Dabei sind organische Substanzen in Lösung übergeführt worden, welche sich im verrotteten Miste vorfinden. Dies beweist zugleich — und ebenso der Gehalt an Ammoniakverbindungen und die unverminderten Aschenbestandtheile, dass keine sehr bedeutende Auslaugung der löslichen Bestandtheile Platz gegriffen hat. Der Stickstoffgehalt ist fast im Verhältniss der absoluten Gewichtsverminderung relativ erhöht; es hat also auch keine bedeutende Ammoniakverflüchtigung stattgefunden. — Der Mist hat an seinem Gehalt an werthvollen Düngebestandtheilen nur wenig eingebüsst.

Die Verminderung des Haufens II. unter Dach ist auf einen erheblichen Verlust an organischer Substanz und auf eine noch bedeutendere Austrocknung zu setzen. Verwesungsprocesse haben also auch unter diesen Umständen stattgefunden, aber es wurden verhältnissmässig etwas weniger organische Stoffe in Lösung übergeführt. An Stickstoff ist ausser einer kleinen Ammoniakverdunstung keine Verminderung, also eine relative sehr bedeutende Bereicherung eingetreten, ebenso und naturgemäss bei den Aschenbestandtheilen, da vom Regen geschützt keine Auslaugung eintreten konnte. Der Mist hat in seinem Düngewerth für manche Zwecke zugenommen.

Der ausgebreitete Mist zeichnet sich durch seinen grossen Wasserreichthum aus: bei ihm ist in dieser ersten Periode der absolute Verlust auf Kosten von organischer Substanz zu setzen, die theils verwest ist, theils ausgelaugt wurde, wie aus dem geringen Extractgehalt zu ersehen ist. Auch der Stickstoff und speciell das Ammoniak hat eine absolute Verminderung erfahren. — Der Mist hat sehr erheblich an seinem Düngewerth eingebüsst.

Aus folgenden Angaben lassen sich dieselben Veränderungen für die anderen Perioden weiter verfolgen.

Nach 9²/₃ Monaten:

	I. Haufen.	II. Unter Dach.	III. Gebreitet.
Wasser	75,49%	43,43%	70,09%
Organische Substanz	15,15	30,14	11,05
(hiervon löslich)	2,95	4,13	0,49
Stickstoff	0,66	1,27	0,41
(hiervon Ammoniak)	0,05	0,12	0,06
Asche	9,36	26,43 *)	18,86 *)

Nach 12¹/₂ Monaten:

	I. Haufen.	II. Unter Dach.	III. Gebreitet.
Wasser	74,29%	41,66%	65,56%
Organische Substanz	13,63	33,06	10,36
(hiervon löslich)	2,74	5,37	0,42
Stickstoff	0,65	1,51	0,39
(hiervon Ammoniak)	0,05	0,17	0,03
Asche	12,08	25,28	24,08

*) Die ganz unverhältnissmässige Zunahme an Aschenbestandtheilen ist theilweise auf Verunreinigungen zu setzen; vergl. die vorige Anmerkung.

Der im Freien liegende Haufen I. hat den Sommer hindurch weitere tiefgreifende Veränderungen erlitten, er hat beinahe die Hälfte seiner noch vorhandenen organischen Substanz verloren, und dass sein absolutes Gewicht sich nicht weiter verändert hat, liegt lediglich nur an seinem grösseren Wasserreichthum. Dabei hat gleichzeitig eine beträchtliche Auslaugung stattgefunden, denn die lösliche organische Substanz hat sich vermindert. Auch der Stickstoffgehalt hat entsprechend abgenommen.

Der unter Dach gelegene Mist ist im Wesentlichen nur weiter ausgetrocknet, und desshalb hat auch der Verwesungsprocess keine erheblichen Fortschritte machen können; die Menge der organischen Substanz hat auch absolut keine wesentliche Aenderung mehr erlitten. Auslaugung war unmöglich; der Gehalt an löslichen organischen Stoffen hat eher eine relative Zunahme erlitten. Auf dieselbe Ursache und den gleichzeitigen Schutz vor der Sonne ist die verhältnissmässige Anreicherung an Stickstoff und an Ammoniak zurückzuführen.

Der im Freien ausgebreitete Mist hat den Sommer hindurch einen Theil seines Wassers eingebüsst, aber von den zersetzbarsten organischen Substanzen bereits befreit, nur ziemlich kleine absolute Verluste an diesen erlitten; nur sind die löslichen Antheile derselben noch vollständiger ausgelaugt, der Stickstoff- und speziell der Ammoniakgehalt bis auf ein Minimum reducirt worden.

Die Vergleichung aller drei unter so verschiedenen Umständen sich selbst überlassenen Mistproben in ihrer endlichen Zusammensetzung nach Jahresfrist gibt uns mit Berücksichtigung der verschiedenen absoluten Mengen der einzelnen Proben ein klares Bild von dem Einfluss der Behandlung des Mistes auf dessen Eigenschaften und Zusammensetzung und ebenso von den Unterschieden, welche ein gut behandelter verotteter Mist dem frischen Miste gegenüber zeigen muss. Zugleich wird aber auch deutlich, dass es nicht möglich ist, allgemeiner gültige Angaben von der Zusammensetzung eines verrotteten Mistes zu machen, noch diese letztere auf irgend eine Art zu berechnen. Es lässt sich nur sagen, dass derselbe im Vergleich mit dem frischen Mist verhältnissmässig ärmer an organischer Substanz, reicher an unverbrennlichen Bestandtheilen, und wenn eine rationelle Behandlung stattgefunden hat, reicher an Stickstoff, namentlich auch an für die Pflanzen zugänglicherem sein wird.*)

Nachdem wir so einen nothdürftigen Ueberblick erlangt haben über die Unterschiede der Zusammensetzung des Stallmistes in den verschiedenen Stadien seiner Entwickelung (wenn man so sagen darf), müssen wir noch etwas näher auf die schon erwähnte Trennung desselben bei den gewöhnlichen Methoden seiner Behandlung in zwei Theile, in den *festen Stallmist* im engeren Sinne des Wortes und in die flüssige *Jauche* eingehen. Wir haben schon darauf hingedeutet, dass diese Jauche zwar ursprünglich Nichts Anderes ist, als der flüssige Theil der Ausleerungen der landwirthschaftlichen Nutzthiere, dass aber dann bei Durchtränkung der festen Auswurfstoffe und des Streumaterials mit diesen flüssigen Theilen sekundäre Processe verlaufen, welche unter Anderem auch bis dahin feste Theile verflüssigen und in die

*) Es sind ferner von Völcker Untersuchungen über die Veränderungen schon verrotteten Dungs beim Lagern an der Luft ausgeführt worden; vergl. a. a. O. Aus den Resultaten derselben geht im Wesentlichen das Gleiche hervor.

nun „Jauche" genannte Flüssigkeit überführen. Ich erinnere z. B. an die eben erst zu andern Demonstrationen benutzten Untersuchungen Völckers, aus denen hervorgeht, dass unter Umständen die Menge der löslichen organischen Stoffe bedeutend zunimmt, ebenso die Menge des Ammoniaks, das grösstentheils als in löslichen Salzen vorhanden gedacht werden muss. Die gleiche Thatsache lässt sich ferner auch dadurch leicht anschaulich machen, dass man auf den (zwar geringen) Phosphorsäuregehalt der Jauche hinweist, während wir gelernt haben, dass der Harn der den Stallmist producirenden Thiere entweder ganz oder doch nahezu phosphorsäurefrei ist. *)

Wolff**) gibt die Durchschnittszusammensetzung der Jauche, die natürlich ebensowenig wie eine Durchschnittszusammensetzung des Stallmistes für den einzelnen Fall massgebend sein kann, folgende Zahlen an, neben die ich noch einmal die Zahlen für die Zusammensetzung der einzelnen Harnarten setzen will:

		Harn von		
	Mistjauche.	Pferd.	Rindvieh.	Schaf.
Wasser	98,2 %	87 – 92 %	92—95 %	85—90 %
Organische Substanz	0,7	6,9	3,2	5—10
Stickstoff	0,15	1,5	0,3—0,9	1,3—2,5
Kali	0,49	1,6	1,3	2,1
Phosphorsäure	0,01	0	0	Spuren
Asche	1,07	3,1	3,1	3,2—6

Man sieht zunächst, dass man es in der Jauche, wie man sie nach den bei uns noch vorherrschenderen Betriebsmethoden aus einer unbedachten Düngerstätte sammelt, mit einer beträchtlich verdünnteren Flüssigkeit zu thun hat, wie mit dem ursprünglichen Harn; der weit höhere Wassergehalt, die viel geringere Kali- und Gesammtaschenmenge der Jauche legt hierfür ein unzweideutiges Zeugniss ab. Es kommt Dies einfach von der Zumischung des Regenwassers her, die bei Undurchlässigkeit der Lagerstätte gar nicht so sehr als ein Missstand aufgefasst zu werden braucht.

Um von der Qualitätsveränderung, welche die Flüssigkeit des Mistes bei längerer Berührung mit dessen festen Theilen und durch die atmosphärischen Einflüsse erleidet, eine Vorstellung zu gewinnen, ist die Zusammensetzung der Jauche vorzüglich mit der des Rindviehharns zu vergleichen, und da sehen wir denn, dass die erstere, mit Ausnahme ihres geringen Phosphorsäuregehalts, etwa wie ein verdünnter Rindviehharn ohne weitere Qualitätsänderung erscheint. Dieselbe ist allerdings stickstoffärmer als jener Verdünnung entspricht, und wir müssen annehmen, dass wenn die Flüssigkeit Ammoniaksalze, welche durch Zersetzung der stickstoffhaltigen organischen Bestandtheile des festen Mistes entstanden sind, aus diesem ausgelaugt hat, eine grössere Menge von Ammoniak aus der Jauche sich wieder verflüchtigt hat***). — Völcker hat vergleichende Untersuchungen über die Jauche eines frischen Misthaufens und eines gut verrotteten mitgetheilt †), aus denen sich eine ungefähr

*) Der phosphorsäurehaltige Schweineharn kommt hier seiner geringen Menge wegen kaum in Betracht.

**) Practische Düngerlehre p. 165.

***) Absolut höhere aber relativ ähnliche Zahlen ermittelte Peters: Bad. landwirthsch. Wochenbl. 1870. p. 257.

†) Journ. of England. V. 18. p. 111 und Heiden: Düngerlehre II. p. 98.

ebenso grosse Verdünnung dieser Flüssigkeiten ergibt. Wir wollen einige Zahlen die aus seinen Angaben berechnet wurden, hier anführen.

	Mistjauche	
	aus verrottetem,	aus frischem Mist.
Wasser	98,91 %	98,06 %
Organische Substanz	0,38	1,02
(davon Humussubstanzen)	0,18	—
Stickstoff	0,06	0,06
(davon in Form von Ammoniak)	0,05	0,02
Kali	0,23	0,34
Phosphorsäure	0,01	0,05 *)
Asche	0,71	0,92

Einer strengen Vergleichung sind allerdings die Resultate dieser beiden Analysen nicht fähig, da die Jauchen nicht aus gleichartigen Misthäufen gewonnen waren. Die grössere Verdünnung der Jauche des verrotteten Mistes rührt nur von einer grösseren Menge Regenwasser her, welche derselben beigemischt war. Von Interesse ist nur die Anwesenheit einer beträchtlichen Menge von Humussubstanzen in der Jauche des verrotteten Düngers und die verhältnissmässig grössere Menge Ammoniaks in dieser selben Flüssigkeit. **)

In Betreff der praktischen Verwendung der einzelnen Mistarten in den verschiedenen Zersetzungsstadien und der Verwendung von Jauche müssen wir uns aus den früher erörterten Gründen auf einige Andeutungen beschränken. Wir haben es hier zum grossen Theil mit wirthschaftlich sehr wohl bewährten Massregeln zu thun, die aber bisher nur eine empirische Begründung gefunden haben und wegen der Complicirtheit der dabei ins Spiel kommenden physischen Faktoren einer theoretischen Bearbeitung nur schwierig zugänglich sind.

Die concentrirteren und insbesondere stickstoffreichen thierischen Dünger, wie Schaf- und Pferdemist, werden als *hitzig* bezeichnet, und die landwirthschaftlichen Lehrbücher empfehlen, sie auf kalten Bodenarten anzuwenden. Umgekehrt werden die mehr wässrigen Ausleerungen des Rindviehs und auch der Schweine, wenn diese ärmlich genährt werden, als *kalte* Dungstoffe bezeichnet und mehr für die warmen Böden empfohlen. — Es handelt sich darum, den Sinn dieser praktischen Lehre verstehen zu lernen.

Unter warmen Bodenarten werden nach der Ausdrucksweise der Landwirthe vorzüglich die trockenen Böden verstanden, und wir haben in unseren Betrachtungen

---

*) Die verhältnissmässig grosse Menge Phosphorsäure in dieser Jauche ist z. Th. der Zumischung von Schweinedung zuzuschreiben.

**) Die Verdünnung der flüssigen Bestandtheile des Stallmistes durch Regenwasser ist weitaus nicht unter allen Umständen als ein Uebelstand anzusehen, wenn nur die Jauchengrube völlig undurchlässig ist. Es ist vielmehr darauf hinzudeuten, dass diese Verdünnung an vielen Orten (vergl. Sprengel: Düngerlehre 1839 p. 118) eigens durch Zuführen von Wasser geschieht, und die allgemeinere Zweckmässigkeit dieses Verfahrens scheitert nur an den dadurch entstehenden Transportkosten, da die verdünntere Pflanzennahrung die zuträglichere ist und dazu einem Verlust an Ammoniak durch die Verdünnung vorgebeugt wird. Die so verdünnte Mistjauche heisst dann wohl im engeren Sinne des Wortes „Gülle“.

über die physikalischen Eigenschaften der Ackererden ja thatsächlich gelernt, dass ein hoher Wassergehalt es in erster Linie ist, der die Temperatur eines Bodens herunterdrückt. Daraus geht hervor, dass es die sehr porösen, leichten, ganz vorzüglich die Sand-Böden sein müssen, die in der Praxis das Epitheton „warm" empfangen.

Unter kalten Bodenarten werden durchaus entsprechend die bindigen Böden von grosser wasserhaltender Kraft, also die schweren Thonböden und unter manchen Verhältnissen sogar die humosen Böden, trotz des hervorragenden Vermögens dieser letzteren, sich in der Sonne zu erwärmen, verstanden.

Man wäre nun wohl geneigt, entsprechend diesem verführerischen Sprachgebrauch, die gegebene praktische Lehre so zu deuten, als müssten die kalten Böden durch den hitzigen Mist erwärmt, die warmen durch den kalten Mist in der Temperatur gemässigt werden, da die hitzigen Mistarten eine raschere Zersetzung erleiden und dabei eine grössere Menge von Wärme produciren; und es ist wohl kein Zweifel daran, dass der gemeine Verstand sich die Sache ungefähr in dieser Weise zurecht legt.

Allein der Sache strenger ins Auge gesehen, haben wir es hier mit einer jener vielen rein praktischen Lehrsätze zu thun, die man, vielleicht nur, um sie dem Gedächtniss einzuprägen, auf eine scheinbare Theorie stützt, ungefähr gerade wie unsere Religionslehrer die praktisch wohl bewährte christliche Moral auf ein handgreiflich unsinniges Dogma theoretisch zu begründen suchen. Wir haben schon früher darauf hingedeutet, dass die Vorstellung von der Wärmeentwickelung im Boden durch Mist oder andere verwesende organische Substanzen eine sehr schlecht begründete ist, dass es sich bei dieser Verwesung durch längere Perioden hindurch unmöglich um irgend wie erhebliche und dem Pflanzenwuchs zu Gute kommende Temperatursteigerungen handeln kann. Die Erklärung der mitgetheilten praktischen Lehre macht sich, seitdem wir Kenntniss von den Absorptionserscheinungen besitzen, in viel einfacherer Weise und fällt ungefähr mit der Erklärung der schon früher in einer Anmerkung*) angeführten Regel, auf leichten Böden öfter aber schwächer, auf schweren Böden seltner aber stärker zu düngen, zusammen. Der concentrirtere Dünger würde auf dem warmen, leichten Sandboden, der nur ein geringes Absorptionsvermögen besitzt, weit concentrirtere, leicht dem Pflanzenwuchs schädliche Bodenlösungen erzeugen, und es würde so zugleich ein Theil der gegebenen Düngung durch den Regen hinweggeführt werden. Auf dem thonigen und humosen Boden ist dergleichen nicht zu befürchten, und man kann diesen Bodenarten ruhig den hitzigeren Dünger einverleiben.

Neben diesem Gesichtspunkt kommen dann freilich wohl noch andere in Betracht, wie die, dass die „kalten" schwerer zersetzbaren Dungstoffe in den warmen und lockeren Böden leichter verwesen, einmal wegen der höheren Durchschnittstemperatur, dann aber auch wegen dem durch die Lockerheit erleichterten Zutritt der Atmosphärilien in denselben.

Von den hitzigen Mistarten wird der Schafdung sehr regelmässig für sich verwendet. Es geschieht Dies vorzüglich, weil bei der Schafhaltung häufig ganz eigen-

*) Die neunundzwanzigste Vorlesung p. 101.

thümliche Methoden der Einstreu und der Ausmistung bestehen, mit deren Begründung wir hier Nichts zu thun haben. Der Pferdemist wird häufig da, wo er wie in den meisten Wirthschaften gegenüber dem Rindviehmist in untergeordneten Mengen producirt wird, mit diesem auf einer gemeinschaftlichen Düngerstätte gesammelt und in der so entstehenden Mischung verwendet. Erheischen es aber die Verhältnisse einer Wirthschaft, sind die Bodenarten oder auch die Kulturzwecke sehr verschiedene, so hält man sie auch wohl von einander getrennt.

Die sogenannten kalten Düngerarten sind dann natürlich in allen den Wirthschaften, wo ausschliesslich Rindviehhaltung oder daneben noch Schweinehaltung besteht, die allein zur Verfügung stehenden und jedenfalls für die durchschnittlichen Verhältnisse in unsern Gegenden die im grössten Massstab vorhandenen.

Es sind dann weiter die praktischen Lehren zu besprechen, welche sich in Betreff der Verwendung frischen oder verrotteten Mistes in den Lehrbüchern der Landwirthschaft finden. Wir treffen dort auf die Regel, dass der frische Mist, welcher noch keine Zersetzung erlitten habe, auf einem trocknen Sandboden, wenigstens in den trocknen Sommermonaten niemals angewendet werden dürfe, sondern nur verrotteter Mist, während der frische für nasse und schwere Thonböden den Vorzug verdiene und dort zu allen Jahreszeiten angewendet werden dürfe. Diese Regel ist offenbar nicht auf den oben geltend gemachten Gesichtspunkt der ungleichartigen Absorptionsfähigkeit zurückzuführen, sondern einfach auf den Umstand, dass der lockere Boden einmal keiner weiteren Lockerung durch den frischen, noch unzersetzte Strohelemente enthaltenden sogenannten „langen“ Mist bedarf und dass in ihm in der trocknen Jahreszeit ein Moment der Verwesung, die Feuchtigkeit fehlt und somit die schwer verweslichen holzigen Theile ohne jeden Nutzen im Boden sind. *) **)

Andererseits bedarf der schwere thonige Boden der Lockerung aus einer Reihe von Gründen, die aus dem Frühergesagten leicht hergeleitet werden können, und darum des langen Mistes. — Hier sind es also wesentlich physikalische Verhältnisse, die diese verschiedenartige Verwendung bedingen. — Es muss einstweilen dahin gestellt bleiben, ob diese Begründung jener praktischen Lehre eine ausreichende und überhaupt eine vollständig richtige ist.

Weiter müssen für die Anwendung der Jauche einige Anhaltspunkte gegeben werden. Alle praktischen Regeln, welche in Bezug auf die Verwendung dieses flüssigen Düngers gegeben werden, lassen sich auf die rasche aber wenig anhaltende Wirkung desselben zurückführen. Wo es sich darum handelt, einer schwächlichen Saat rasch aufzuhelfen, eine sehr nährstoffbedürftige Pflanze wie z. B. den Tabak, den Mais zur Zeit seiner intensivsten Vegetation zu einem Maximum der Production zu bringen, da wird die Verwendung der Jauche empfohlen; aber eine länger an-

*) Es wird in diesem Falle mit Recht auf den schnelleren Umsatz des Düngerkapitals hingedeutet, der natürlich in allen den Fällen, wo die physikalische Wirkung des frischen Mistes entbehrlich ist, als ein wirthschaftlicher Vortheil erscheint.

**) In kalten Gegenden, wo es sich darum handelt, durch rasch assimilirbare Pflanzennahrung die Vegetationsperiode abzukürzen, wird auch die Verwendung verotteten Düngers empfohlen.

dauernde Wirkung für die nachfolgende Frucht, oder auch nur für den zweiten Schnitt eines und desselben Futtergewächses wird von diesem Düngemittel nicht erwartet. Diese praktische Erfahrung steht durchaus im Einklang mit den theoretischen Anschauungen, die wir von der Düngebefähigung der Jauche hegen müssen. Alle in derselben enthaltenen Bestandtheile sind gelöst, meistens auch schon in der Form vorhanden, wie sie von der Pflanze aufgenommen werden können; ihr Verbringen in den Boden erhöht direct die Concentration der Bodenlösung an wirklichen Nährstoffen, und selbst der Theil der Bestandtheile, welcher im Boden Absorption erleidet, ist leicht verfügbar. Es ist demgemäss unthunlich, durch Jauchendüngung eine so grosse Menge von Nährstoffen in den Boden zu bringen, dass für sehr lange Perioden eine Nachwirkung stattfinden könnte, denn bei einem solchen Unternehmen würden einerseits die Concentrationen der Bodenlösungen viel zu hohe werden und so der Vegetation ein directer Schaden entstehen, andererseits auf diese Weise Viel in den Untergrund gespült werden und so doch bald eine Erschöpfung eintreten. Die erwähnte praktische Erfahrung erscheint uns in jeder Beziehung durchaus selbstverständlich.

Was die Verwendung der Jauche auf den verschiedenen Bodenarten betrifft, so lässt sich angeben, dass sie auf allen Verwendung findet und dass sich ihre Anwendung weit mehr nach der Pflanze richtet. Nur kann man hinzufügen, dass auf Böden von geringem Absorptionsvermögen, also auf den leichteren Sandböden, geringere Mengen zu verwenden sind, und eher eine öftere Wiederholung der Düngung empfehlenswerth erscheint, als auf schweren Thonböden oder humosen Böden von grossem Absorptionsvermögen. Weiter ist darauf aufmerksam zu machen — und wir werden Dies später für viele künstliche Dünger zu wiederholen haben, — dass die Jauche, bei ihrem völligen Mangel an festen organischen Substanzen, jene physikalischen Funktionen, welche die verwesenden Pflanzenreste eines von Menschenhand unberührten Bodens oder der Stallmist auszuüben fähig sind, natürlich nicht zu leisten vermag, und dass sie schon aus diesem Grunde für die meisten Böden, zumal die einer Auflockerung bedürftigen schweren Thonböden nicht als *alleiniger* Dünger zu verwenden ist. *)

Ausser den praktischen Regeln über die Verwendung der aus den Excrementen unserer Haussäugethiere hervorgehenden einzelnen Düngerarten auf verschiedenen Böden sind nun aber natürlich auch solche in Bezug auf einzelne Kulturen in Kürze anzudeuten. Diese lassen sich indessen nicht mit alleiniger Berücksichtigung jener wenigen Momente, sondern theilweise nur durch spezielles Eingehen auf die Vertheilung der einzelnen Düngestoffe in den verschiedenen Düngerarten, theilweise wegen Complicirtheit der einschlägigen Verhältnisse auch noch gar nicht aus theoretischen Gesichtspunkten verstehen.

In den hierher gehörigen Düngerarten sind ausser den mehr physikalisch wirkenden Substanzen im Wesentlichen drei wichtige Pflanzennährstoffe enthalten, die für derartige Betrachtungen berücksichtigt werden müssen: die *Stickstoffverbindungen*, die *Phosphorsäure* und das *Kali*. Es ist nun allerdings richtig, dass in dem

*) Uebrigens sind in dieser wie in vielen anderen Beziehungen die Angaben der Praktiker ziemlich verschieden von einander.

Mist der verschiedenen Thierklassen, wenn derselbe noch nicht durch sekundäre Eingriffe in seiner Zusammensetzung geändert ist, entsprechend ihrer immerhin doch ziemlich gleichartigen Ernährung diese einzelnen Bestandtheile in nicht allzu verschiedenen Verhältnissen enthalten sind, und dem entsprechend hat sich auch kein ausgesprochener Usus der Verwendung des Mistes dieser oder jener Thierart zu ganz bestimmten Gewächsen in erwähnenswerthem Massstab ausgebildet. Allein bei der Trennung des Mistes einer und derselben Thierart in zwei heterogene Bestandtheile von sehr verschiedenartiger Zusammensetzung und namentlich verschiedenartiger Vertheilung jener drei wichtigsten Bestandtheile, in festen Mist und Jauche tritt sogleich die verschiedene Verwerthbarkeit dieser Düngestoffe für einzelne Kulturen hervor.

Wir haben früher gesehen, dass der Dünger hauptsächlich desshalb nützlich auf den Pflanzenwuchs wirkt, weil durch ihn dem Boden Bestandtheile wieder gegeben werden, welche nach dem natürlichen Lauf der Dinge niemals demselben entrissen worden wären, und von diesem Standpunkte aus sollte man im einzelnen realen Falle vorzüglich solche Düngestoffe für zuträglich halten, die in ihrer Zusammensetzung möglichst der letzt entnommenen Ernte ähneln. In der That wird dieser Standpunkt, wie wir später sehen werden, häufig in dieser Weise vertreten. — Allein es ist kein langes Nachdenken dazu erforderlich, um zu erkennen, dass dieser Standpunkt nothwendig ein einseitiger sein muss. Verschiedene Bodenarten sind sehr verschieden zusammengesetzt und für einzelne Kulturen in sehr verschiedenem Grade geeignet. Dabei ist der von Menschenhand unberührte Boden durchaus nicht durchweg zur höchsten Produktion befähigt. Wir kommen hier wieder auf den Eingangs dieses Abschnittes betonten Satz zurück, dass eine Düngung nicht den einzigen Zweck der Leistung eines Wiederersatzes hat, sondern dass man sie vornimmt, um irgend welche Ernährungsbedingungen der Pflanzen in einem günstigeren Verhältnisse darzubieten, und dass nur bei der Leistung des Ersatzes die Wahrscheinlichkeit im Allgemeinen am Grössten ist, dieses Verhältniss günstig zu gestalten. Es kann also in dieser Allgemeinheit nicht gesagt werden, dass, wenn z. B. die Jauche eine ähnliche Zusammensetzung hat, wie eine entnommene Ernte, d. h. wenn das Verhältniss von Kali, Phosphorsäure und Stickstoff in beiden annähernd dasselbe ist, irgend eine besondere Aussicht dafür vorhanden ist, dass die Düngung mit der entsprechenden Menge Jauche für diese Kultur die möglichst zweckmässige sei.

Aber auch noch von einem anderen ebenso einseitigen Standpunkte aus ist man häufig geneigt, die Sache zu beurtheilen. Man nimmt lediglich Rücksicht auf die Zusammensetzung der kommenden Ernte oder der einem bestimmten Fruchtwechsel angehörigen Reihe von Ernten und hegt die Meinung, dass wenn man die zu gebende Düngung möglichst genau in Menge und Gehalt nach dieser gehofften Ernte richtet, die Aussicht auf die Wirksamkeit der Düngung eine möglichst grosse sei.

Auch diesen für die Erwerbung richtiger wirthschaftlicher Anschauungen sehr gefährlichen Standpunkt zu erschüttern, wird ein kurzer Hinweis auf die in Hinsicht auf das Bedürfniss der Pflanzen *zufällige* Zusammensetzung des Bodens und namentlich auf unsere naturwissenschaftliche Kenntniss von den Gesetzen der Stoffaufnahme völlig genügend sein. Wir wissen einmal, dass es ganz von der vorausgehenden Zusammensetzung des Bodens abhängig ist, die ja zu dem Bedürfniss der

nun erfolgenden Kultur in gar keiner Beziehung steht, ob die Zufuhr jedes einzelnen Nährstoffs der zu bauenden Gewächse nothwendig oder nützlich ist. Dieser Gesichtspunkt hat indessen Nichts mit der uns zunächst beschäftigenden Frage nach ganz allgemeinen (für eine Durchschnittsbeschaffenheit der Böden geltenden) Regeln über die Anwendung spezifischer natürlicher Dünger zu gewissen Kulturen zu thun.*)

Umsomehr kommen die Gesetze der Stoffaufnahme seitens der Kulturgewächse für diese Frage hier in Betracht. Es ist, um sich dessen bewusst zu werden. durchaus nicht nöthig, irgend wie näher auf diese Gesetze zurückzukommen. Der einfache Hinweis genügt, dass nicht Alles in zugänglicher Form im Boden Vorhandene von der Pflanze in einer Kulturperiode aufgenommen werden kann, sondern dass es dabei auf die Wurzelverzweigung, die osmotischen Eigenschaften der Wurzelzellen u. s. w. ankommt, dass ferner die einzelnen Stoffe von der Pflanze vermöge der verschiedenen osmotischen Befähigung jener bei gleichmässigem Vorhandensein in ganz verschiedenen Verhältnissen aufgenommen werden, dass es mit einem Worte auf die nicht in Zahlen ausdrückbare *spezifische Organisation* eines Gewächses ankommt, ob ihm der im Boden vorhandene Vorrath zum üppigen Wachsthum genügt, dass der erforderliche Vorrath also in keinem einfachen Verhältniss steht zu dem wirklich in die Zusammensetzung des Organismus Eingehenden. D. h. der hervorragende Kali- oder Stickstoffgehalt eines Gewächses ist durchaus kein untrüglicher Beleg dafür, dass dasselbe nun auch eine sehr grosse Menge von Kali resp. Stickstoff im Boden vorraussetzt, wenn auch selbstredend eine grössere.

Daraus geht nun aber in unzweideutiger Weise hervor, dass sich eine Düngung in ihrer Menge und Zusammensetzung unmöglich richten kann nach dem sogenannten Bedarf der Gewächse, wie man ihn durch die Analyse der gemachten Ernte ermittelt**), sondern dass, abgesehen von den specifischen Eigenschaften des Bodens, viel complicirtere Umstände zu berücksichtigen sind, um eine möglichst zweckmässige Zufuhr der einzelnen düngenden Bestandtheile zu ermöglichen, und da alle diese vielseitigen Verhältnisse noch nicht genügend naturwissenschaftlich studirt, auch in ihren unübersehbaren Wechselbeziehungen kaum einer exakten Behandlung fähig sind, so kann in Bezug auf die Wahl der Düngung einstweilen nur die *praktische Erfahrung* entgültig entscheiden, während es der Theorie nur vorbehalten bleibt, Anhaltspunkte zu geben, die allerdings jene wesentlich erleichtern.

Ich habe dies Verhältniss, das in den sogenannten praktischen Düngerlehren nur allzu häufig übersehen wird, hier schon hervorzuheben für nöthig gehalten und behalte mir vor, gelegentlich auf dasselbe wieder zurückzukommen.

An dieser Stelle machen wir die Anwendung von diesen Auseinandersetzungen. dass die getrennte Verwendung von Jauche und festem Stallmist bei einzelnen Kulturen sich unmöglich richten kann nach der übereinstimmenden Zusammensetzung dieser Düngerarten und der zu machenden Ernten, sondern nach den spezifischen

*) Vergl. hierüber auch die vierzigste Vorlesung.

**) D. h. unter Anderem, dass der von Liebig ausgesprochene Satz (Die Chemie etc. 1862. I. p. 244): „Die festen und flüssigen Excremente eines Thieres haben als Dünger für diejenigen Gewächse den höchsten Werth, welche dem Thiere zur Nahrung gedient haben“ unmöglich genau richtig sein kann.

Bedürfnissen der angebauten Gewächse, die eben bis jetzt allein durch die praktische Erfahrung festgestellt werden konnten.

Diese praktische Erfahrung lehrt nun, dass die Mistjauche besonders für Futterpflanzen, d. i. also auf Wiesen und Kleefeldern ebenso für den Mais, von grosser Wirksamkeit ist, während sie sich für den Anbau von Körnerfrüchten, sowie für die samentragenden Leguminosen weniger bewährt hat. In diesem Falle gelingt es nun allerdings, diese verschiedenen Erfolge auf einige naheliegende Gesichtspunkte zurückzuführen. Einmal muss aus den vorhin angegebenen Gründen, um keine zu concentrirten Nährstofflösungen im Boden und Verluste durch Auswaschung zu veranlassen, die Düngung mit flüssiger Jauche in nicht zu grossen Mengen und darum mehrmals in einer einzigen Vegetationsperiode gegeben werden, ein Verfahren, das auf einem mit reifenden Früchten bestandenen Felde sich aus einer Reihe von Gründen nicht eingeschlagen werden kann, bei Gras und Klee dagegen nach einem entnommenen Schnitte sich ganz von selbst macht.

Ausserdem spielt aber auch hier der verschiedene Bedarf an Nährstoffen eine hervorragende Rolle. Die Mistjauche ist ein kalireicher und ganz besonders phosphorsäurearmer Dünger; alle körnertragenden Früchte bedürfen dagegen zur Entwickelung ihrer Samen einer reichen Stickstoff- und Phosphorsäure-Ernährung, während die Futterpflanzen verhältnissmässig grosse Mengen von Kali in sich aufnehmen. Im Uebrigen sind kaum ganz allgemein gültige und unbestrittene praktische Regeln über Verwendung von Jauche und Stallmist zu einzelnen Kulturen vorhanden. Aus England berichtete man seiner Zeit weit günstiger über die Erfolge der beinahe ausschliesslichen Verwendung von flüssigem Dünger, während in Deutschland viele Stimmen gegen deren allgemeinere Verwendung laut geworden sind. Man muss in allen diesen Fällen bedenken, dass klimatische Differenzen und namentlich auch Unterschiede in den Methoden der Bodenbearbeitung neben allen anderen schon geltend gemachten Dingen von Einfluss auf die Erfolge einer Düngung sein müssen. Nur bezüglich der Verwendbarkeit der Gülle auf Wiesen und bei der mehr gartenartigen Kultur des Handelsgewächsbaues scheinen alle Praktiker einig zu sein.

Fünfunddreissigste Vorlesung.

Die menschlichen Auswurfstoffe.

Nachdem wir uns durch die Betrachtungen der letzten Vorlesungen ein Bild verschafft haben von der Düngebefähigung der aus den Excrementen unserer landwirthschaftlichen Hausthiere hervorgehenden Düngersorten, wollen wir heute denselben Gegenstand von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus, den man wohl als den der *Statik* bezeichnen könnte, behandeln. Wir werden auf diese Weise am Raschesten zu der Einsicht gelangen, dass unter gewissen genau zu bezeichnenden Umständen die alleinige Verwendung der bis jetzt behandelten Düngerarten, die wir nun in

ihrer Gesammtheit kurzweg als *Stallmist* bezeichnen wollen, nicht auf die Dauer im Stande ist, die Fruchtbarkeit der Felder zu erhalten, dass die *reine Stallmistwirthschaft* unter jenen Umständen schliesslich zu einem Punkte führen muss, wo es nothwendig wird, andere Düngemittel neben jenen Stoffen zu verwenden.

Diese Umstände zu ermitteln, für welche Dies nothwendig zutreffen muss, wird nun unsere Aufgabe sein. Im Grunde sind dieselben schon durch frühere Betrachtungen angedeutet. Als wir von der Möglichkeit sprachen, die Zusammensetzung der Auswurfstoffe der landwirthschaftlichen Nutzthiere und so mittelbar die des frischen Stallmistes aus der Fütterung zu berechnen und die Bedingungen dieser Möglichkeit aufsuchten, da fanden wir, dass dazu nothwendig sei, dass die betreffenden Thiere sich auf dem Erhaltungsfutter befänden, und dass keine anderen Stoffe ausser den Excrementen von diesen Thieren in erheblicher Menge producirt würden. Mastthiere, tragende oder milchende Mutterthiere, Jungvieh und endlich auch strenggenommen wollproducirende Schafe mussten bei jener Düngerberechnung einem ganz eigenen Kalkul unterworfen werden, d. h. bei denselben die Menge der im producirten Fleisch, im Fett, den Knochen, der Milch, der Wolle u. s. w. vorhandenen Bestandtheile von den Bestandtheilen der verabreichten Fütterung in Abrechnung gebracht werden, um die Mengen des in den Auswurfstoffen enthaltenen Stickstoffs, des Kali, der Phosphorsäure u. s. w. zu kennen.

Wir brauchen zu dem Resultate unserer damaligen Untersuchungen nun nur noch hinzuzufügen, dass diejenigen Stoffe, welche dadurch, dass sie nicht dem thierischen Stoffwechsel anheim fallen, jenes Deficit in der Zusammensetzung des Stallmistes erzeugen, also Milch, der Körper des aufgezogenen Jungviehs und der zur Mast aufgestellten Thiere nach dem natürlichen Lauf der Dinge grossentheils nach Aussen verkauft werden und so auch zunächst nicht auf einem Umweg auf die Felder, aus deren Bestandtheile sie gebildet sind, zurückgelangen, während umgekehrt die Futterstoffe im Grossen und Ganzen auf demselben Landgute gewachsen sind, auf dem sie den Thieren vorgelegt werden.

Aus diesem Sachverhalt sind nun offenbar wichtige Folgerungen für die dauernde Erhaltung der Fruchtbarkeit der Felder solcher Landgüter zu ziehen, wo thierische Produkte nach auswärts verkauft werden, natürlich immer vorausgesetzt, dass nicht von Aussen Düngestoffe zugekauft oder auf eine andere Weise erworben werden. Der Stalldünger enthält in diesem Fall, ganz abgesehen von dem unter allen Umständen vorhandenen Deficit an organischer Substanz, ein Minus an Stickstoff und den einzelnen Aschenbestandtheilen, das genau so gross ist, wie der Gehalt der ausgeführten Produkte an diesen Stoffen, und wenn man diesen Stalldünger auf die Felder zurückbringt, auf welchen die Futterstoffe gewachsen sind, so braucht auf denselben nun zwar nicht von Anfang an eine Minderproduktion stattzufinden, aber auf den ärmeren Bodenarten und nach einer gewissen Dauer eines solchen Betriebes wird Dies immerhin der Fall sein, so dass von den landwirthschaftlichen Perioden an, wo der Dünger überhaupt einen wirthschaftlichen Werth erhält, der unter den bezeichneten Umständen producirte Stallmist einen Minderwerth besitzen wird.

Diese Folgerungen gelten nicht etwa, wie es uns die einseitige Auffassung der Liebig'schen Schule gerne glauben machen möchte, für die Aschenbestandtheile allein, sondern Anfangs in weit höherem Grade für den Stickstoff, der auch in der

That bei der Werthbestimmung des Mistes nach den wirthschaftlichen Gesetzen der Nachfrage und des Angebots den höchsten Preis erhält. Nur Das ist richtig, dass es allein die Aschenbestandtheile sind, welche einem derartigen Betrieb, wenn wir ihn uns sehr lange Zeiten hindurch in derselben Richtung fortgesetzt denken, durch ihr beschränktes Vorhandensein eine endliche Grenze setzen würden, da für dieselben nicht atmosphärische Quellen zur Verfügung stehen.

Wir haben weiter zu berücksichtigen, dass der Landwirth nach dem gewöhnlichen Lauf der Dinge nicht allein Producent von thierischen Produkten ist und nicht solche allein nach Aussen abführt. Derselbe erzeugt eine Menge von Pflanzensubstanz, welche nicht zu seiner eignen Ernährung und nicht zur Fütterung der von ihm gehaltenen Nutzthiere verwendet wird, und wenn wir uns daher auch die Auswurfstoffe der Bewohner des Landguts selber dem Stallmiste einverleibt oder auf irgend eine andere Weise auf die Felder zurückgebracht denken, so ist diese Ausfuhr doch neben jenem Deficit im Stallmist eine Quelle des Verlustes an Düngerbestandtheilen, welche ihrer Grösse nach genau aus ihrem Gehalte an denselben ermittelt werden kann. *Die Ausfuhr von Korn und Fleisch* -- so können wir die zwei Gruppen von verkauften Produkten der Einfachheit wegen bezeichnen – *ist die still und langsam wirkende Ursache der Aenderung der Fruchtbarkeitsfactoren der Felder in einem ganz bestimmten Sinne.*

Einige Betriebsarten gibt es allerdings, bei denen fortwährend organische Substanzen ausgeführt werden, und dennoch das eben geschilderte Verhältniss nicht zutrifft. Es sind Dies alle diejenigen, wo aus den Pflanzenerzeugnissen auf technischem Wege Produkte dargestellt werden, die wohl noch organische Substanzen sind, aber keine erheblichen Mengen von Stickstoff und Aschenbestandtheilen mehr in sich enthalten, wo dann diese Produkte nach Aussen verkauft werden, der Stickstoff aber und die Aschenbestandtheile, welche mit zur Produktion jener gedient haben, auf dem Gute verbleiben und von Neuem zu einer ähnlichen Produktion in Anspruch genommen werden können. Dahin gehört vor Allem die Ausfuhr von Zucker, Stärke, Branntwein, wenn die Rückstände dieser Fabrikationen, Rübenpresslinge und Melasse, Kartoffelrückstände und Schlempe der Wirthschaft verbleiben. Freilich wenn diese Abfälle, wie Dies ja theilweise regelmässig geschieht, zur Viehmastung Verwendung finden, dann entsteht eben durch diese wieder ein neuer Ausfall, wenn auch in weniger erheblichem Massstabe.

Wir haben also durch unsere Betrachtungen gesehen, welche Bestandtheile der Stalldünger nothwendig in sich enthalten muss, in wie fern die Zusammensetzung desselben abhängig ist, von der Art, wie man die Viehhaltung wirthschaftlich nützt und von den Pflanzenprodukten, die man ausführt.

Würde man in irgend einer Wirthschaft die landwirthschaftlichen Nutzthiere nur der Arbeit wegen halten, wie Dies z. B. mit den Pferden thatsächlich der Fall ist, würde man gleichzeitig die Thiere in demselben Mastungszustande kaufen, wie man sie, nachdem sie arbeitsunfähig geworden sind, wieder verkauft, oder bei Nachzucht dafür Sorge tragen, dass die Leichen der alten unbrauchbaren Thiere als Dünger benutzt würden, wäre gleichzeitig die Produktion von Futter für diese Thiere, sowie von Nahrungsmitteln für die Bewohner des Landgutes der einzige Zweck des Feldbaues, so wäre die Stallmistdüngung mit gleichzeitiger Gewinnung der Excremente

der Bewohner ein volles Aequivalent für die durch die Ernten entnommenen Fruchtbarkeitsbedingungen der Felder. Höchstens in Beziehung auf die Lieferung einer intensiven Kohlensäurequelle und auf einige physikalische Zustände des Bodens, sowie Aufnahmsfähigkeit, Vertheilung und chemische Form der Pflanzennährstoffe würden Unterschiede vorhanden sein, gegenüber dem Effekt, den die geerntete Pflanzenmasse, wenn sie dem Boden verblieben wäre, hervorgebracht haben würde.

Es braucht nicht hervorgehoben zu werden, dass ein solcher ideeller Betrieb praktisch nicht vorzukommen pflegt, dass jeder Wirthschaftende *), der sich mit Feldbau und Viehhaltung befasst, auch Produkte ausführen muss, da er ja eine Reihe von Bedürfnissen besitzt, die er nicht durch eigene Produktion zu befriedigen im Stande ist, und zu deren Befriedigung er sich eben durch Ausfuhr von sogenannten landwirthschaftlichen Produkten die Mittel erwirbt. Die Möglichkeit der direkten Selbstbefriedigung aller Bedürfnisse setzt bekanntlich eine äusserst niedrige Stufe menschlicher Kultur voraus. Mit der Kultur pflegen die Anzahl der Bedürfnisse, die befriedigt werden können, zuzunehmen und die Arbeitsgliederung verbunden mit dem Tausch der verschiedenartigen producirten Güter ist es vornehmlich, die uns die Befriedigung so mannigfaltiger Bedürfnisse ermöglichen. Die Arbeitstheilung weist nun dem Landwirth nothwendig die Aufgabe zu, nicht blos Produkte für sich, seine Angehörigen und diejenigen, die sich an seiner Produktion betheiligen, hervorzubringen, sondern auch noch für eine grosse Anzahl von andern Menschen, die alsdann zum Ersatz dafür ihm direkt oder indirekt durch den Werthmesser, das Geld, zur Befriedigung seiner sonstigen Bedürfnisse verhelfen; und je grösser die Anzahl derjenigen ist, die er auf diese Weise mit landwirthschaftlichen Produkten versorgt, eine um so höhere Kultur **) wird im Allgemeinen als möglich erscheinen.

Aus dieser einfachen Betrachtung ergibt sich, dass gerade in den kultivirtesten Ländern die Feldprodukte unmöglich allein zur Ernährung der landbauenden Bevölkerung, und wo Viehhaltung stattfindet, zur Fütterung von Arbeitsthieren verwandt werden können, sondern dass pflanzliche Nahrungsmittel für die nicht landbauende Bevölkerung producirt und verkauft werden müssen, und da die meisten Menschen, wenigstens in den kultivirtesten Ländern, trotz der Bemühungen der Vegetarianer, nicht von Pflanzenkost allein leben, mithin die Nutzthiere nicht blos ihrer Arbeitsleistung, sondern auch der Lieferung von thierischen Nahrungsmitteln wegen gehalten werden müssen, so folgt, dass auch thierische Produkte Milch und Fleisch erzeugt und — da wiederum wegen der Arbeitstheilung nicht ein jeder Milch- und Fleisch-Consument selbst sich mit Viehhaltung beschäftigen kann — ausgeführt ***) werden müssen.

*) Nur auf einer sehr frühen Anfangsstufe menschlicher Kultur, wo noch ein Jeder Producent aller der Befriedigungsmittel seiner Bedürfnisse ist, ist ein solcher Betrieb denkbar.

**) Pflegt man doch häufig gerade die Kultur durch die Menge der Bedürfnisse, die vom Einzelnen befriedigt werden können, zu messen.

***) Es verdient hierbei Beachtung, dass die einzelnen thierischen Produkte, wie auch die verschiedenen landwirthschaftlichen Thierarten ungleiche Mengen an düngenden Bestandtheilen in sich enthalten. So enthalten Schweine im Verhältniss zu ihrem Lebendgewicht die geringste Menge Aschenbestandtheile, beträchtlich mehr die Schafe und am meisten das Rindvieh; vergl. Jahresber. f. Agrikulturchemie 1862—63. p. 199.

Dazu kommen die landwirthschaftlichen Produkte, welche nicht Nahrungsmittel der Menschen sind, aber gleichfalls und aus dem nemlichen Grunde ausgeführt werden. In Folge der Ausfuhr solcher Produkte wird der Stallmist um so weniger im Stande sein, bei seinem Aufbringen auf die Felder die gleiche Wirkung hervorzubringen, wie die producirte ungeerntete Pflanzenmasse. — Es ist unnöthig, diesen Gegenstand noch weiter breit zu treten.

Für die Stichhaltigkeit unserer Argumentation ist es ganz gleichgültig, dass nicht alle Felder eines Landgutes in gleicher Weise von jenem Verluste betroffen werden, dass z. B. nach den üblichen Bewirthschaftungsmethoden die Wiesen am meisten verlieren, während vielleicht manche Felder so reich oder noch reicher gedüngt werden, als Dies nach dem natürlichen Lauf der Dinge geschehen würde.

Wir sind, wie gesagt, im Stande, aus der *Art* und der Menge der ausgeführten landwirthschaftlichen Produkte einen Rückschluss zu machen, auf die Zusammensetzung und Menge des einem Landgut zur Verfügung stehenden Stallmistes, auf dessen Fähigkeit, die zum Gute gehörigen Felder auf ihrem natürlichen Fruchtbarkeitsstande zu erhalten. Man kann in Bezug hierauf — so lange man von dem Gebrauch anderer Düngemittel, als dem auf einem Gute producirten Stalldünger sammt der dazu gehörigen Gülle und den von den Bewohnern und Arbeitern des Gutes erzeugten Excrementen absieht — ganz allgemein aussprechen, dass der Grund und Boden eine um so nachtheiligere Aenderung seiner Fruchtbarkeitsbedingungen erleiden wird, je mehr pflanzliche Producte ausgeführt werden, je mehr das Vieh zu anderer Nutzung dient, als zur Arbeit, d. h. also, je mehr pflanzliche nnd thierische Produkte überhaupt ausgeführt werden. *)

Es geht aus den angestellten Betrachtungen über die nothwendige Zusammensetzung des Stallmistes, der unter den herrschenden wirthschaftlichen Zuständen gewonnen wird, unzweifelhaft hervor, dass dieser allein nicht im Stande ist, die Fruchtbarkeit der Felder dauernd zu erhalten, dass bei der reinen **) Stallmistwirthschaft ein Deficit bestehen muss zwischen Ersatz und Entnahme, das nur durch Erwerbung von fremden Düngestoffen ausgeglichen werden kann.

Wir haben allerdings gesehen, dass Dies nicht für alle Felder gleichmässig stattzufinden braucht, dass namentlich durch Wiesenbau häufig ein nahezu vollständiger Ersatz für das Ackerland ermöglicht wird. Aber alsdann findet eben für das Wie-

*) Um diese Gesetzmässigkeiten im Grossen und Ganzen zu erkennen, war indessen durchaus nicht die naturwissenschaftliche Einsicht in die betreffenden Verhältnisse, wie wir sie heute besitzen, nothwendig. Das bei Pachtverträgen übliche Verbot, Futter und Stroh zu verkaufen, zeigt aufs Deutlichste, dass auch schon vorher ein jeder Grundbesitzer von dem Nachtheil eine Vorstellung hatte, den der freie Verkauf jener Stoffe (die namentlich bei kurzen Pachtterminen vom Pächter mit Vortheil vorgenommen werden würden) für die Ergiebigkeit seines Bodens haben musste. Diese Erkenntniss hat sich aber freilich nicht in jener allgemeineren Form ergeben, sondern einfach aus jener anderen handgreiflichen entwickelt, dass die Stoffe, deren Ausfuhr verboten war, auf die Vermehrung des Stalldüngers hinwirkten.

**) Es gibt zwar, wie wir später klarer erkennen werden, Betriebe, für welche ein völliger Ersatz nachgewiesen werden kann und die dennoch den Namen „reine Stallmistwirthschaft“ besitzen. Es gilt Dies namentlich für Güter mit Wässerwiesen.

sengelände eine um so schleunigere Ausraubung statt, wenn nemlich dieses ohne alle Düngung bleibt, oder es findet eine Art von Ersatz durch Bewässerung statt, und alsdann ist eben hierin die Erwerbung von bis dahin dem Landgut fremden Düngestoffen gegeben. — Mit diesen Schlussfolgerungen haben wir aber, wie ich zu beachten bitte, Nichts über die wirthschaftliche Unzulässigkeit jener Betriebsmethoden ausgesagt. Davon soll später erst die Rede sein.

Wir können nun aber auch angeben, wo sich jenes Deficit befinden muss. Wenn wir vorderhand gänzlich von dem Handelsgewächsbau, durch den selbstredend auch Fruchtbarkeitsbedingungen den Feldern dauernd entzogen werden, absehen, — und Dies ist möglich wegen der durchschnittlich thatsächlichen Geringfügigkeit des auf diese Weise entstehenden Ausfalls, — so bleibt uns nur die in ihrer wirthschaftlichen Nothwendigkeit eingehend begründete Thatsache vor Augen, dass der Landwirth eben auf dem Wege des Tausches alle diejenigen Menschen mit thierischen und pflanzlichen Produkten versorgen muss, die in anderen Produktionen thätig sind. Das Geld vermittelt in angemessener Weise diesen Tausch, so dass auch indirekt diejenigen, die mit ihrer Leistung zunächst kein Bedürfniss des Landwirths befriedigen, doch mit den ihnen unentbehrlichen Produkten dieses, den Lebensmitteln versorgt werden.

So ist man leicht befähigt, den Weg zu verfolgen, den die ausgeführten landwirthschaftlichen Produkte und in ihnen gewisse Fruchtbarkeitsbedingungen der Ackerfelder zu nehmen pflegen. Sie wandern in die Städte, die Sammelplätze aller auf einem andern Gebiete als der Landwirthschaft thätigen Producenten, der Handwerker, der Kaufleute und Industriellen, der Beamten, Gelehrten und Künstler und z. Th. selbst der landwirthschaftlichen Grundbesitzer und Kapitalisten.

Es würde uns hier zu weit führen, die Ursache des centripetalen Zusammenlebens und Zusammenschaffens aller derjenigen Personen, die nicht als landwirthschaftliche Arbeiter im höhern und niedern Sinne des Wortes thätig sind, zu erläutern. Sie liegt, abgesehen von dem Schutz und den gesellschaftlichen Annehmlichkeiten, die das Zusammenwohnen gewährt, ganz vorzüglich in der Zweckmässigkeit des Ineinandergreifens der verschiedenen produktiven Thätigkeiten. Der Landwirth dagegen, der in seiner produktiven Thätigkeit an eine unumgängliche nothwendige Bedingung des Pflanzenwachthums, an das Sonnenlicht gebunden ist, an eine Bedingung, deren man nicht in concentrirtem Zustand habhaft werden kann, sondern die sich gleichmässig über das ganze Land ergiesst*), die unbegrenzt ist in der Ausdehnung und an jedem Fleck in der Ausnutzungsfähigkeit beschränkt — der Landwirth ist dieses geselligen Zusammenlebens unfähig und kann es nur suchen, soweit es ihm nothwendigen Schutz gewährt im Hofe oder der Dorfgemeinde.

So ist denn das Korn und das Fleisch gezwungen in die Städte zu wandern, und diese Produkte enthalten die Bedingungen des erneuten Pflanzenwachsthums — Düngebestandtheile, wie wir uns ausdrücken — in sich, während die Güter, die der Landwirth zunächst für jene eintauscht, Kleider, Schuhe und andere Produkte der

*) Auf diesen einen Gesichtspunkt lässt sich in der That der grösste Theil der Unterschiede in Lebensart und socialen Gewohnheiten des Städters und des Bewohners des flachen Landes zurückführen.

Industrie und des Handwerks, Spezereien u. s. w. und endlich das Gut, das er gegen die Steuern eintauscht, die von ihm gefordert werden, der Staatsschutz — keine solche Bestandtheile oder nur dieselben in verschwindendem Masse in sich enthalten. In den Städten werden nun jene landwirthschaftlichen Producte zum grössten Theil verzehrt, zum kleinern Theil nur gelangen sie, wie die thierischen Häute, das Horn, die Knochen, z. Th. das Stroh in's Bereich der Technik.

Die ausgeführten landwirthschaftlichen Produkte fallen also beinahe ganz dem menschlichen Stoffwechsel anheim und erfahren hierbei sehr ähnliche Veränderungen, wie wir sie für die Futterstoffe bei dem Durchgang durch den thierischen Organismus zu constatiren hatten. In der That findet fast dieselbe Veränderung statt; und, dass der Abtrittdünger schliesslich in seiner Zusammensetzung und Wirkungsweise sich so ausserordentlich von dem Stalldünger unterscheidet. Dies rührt mehr davon her, dass der Stalldünger ausser den Excrementen unserer Nutzthiere noch das Material der Einstreu enthält, obwohl nicht geläugnet werden kann, dass auch in den Excrementen an sich bedeutende Unterschiede bestehen — Unterschiede, die sich auf die Verschiedenheit der Ernährung, sowie der Verdauungsfähigkeit der verschiedenen Organismen zurückführen lassen.

Es tritt selbstverständlich beim Durchgang der Nahrungsmittel durch den menschlichen Organismus wieder eine Verminderung der Trockensubstanz ein, die eben auf die Verathmung eines Theils der organischen Substanz, auf den Austritt von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in Form von Kohlensäure und Wasser durch Lunge und Haut zurückgeführt werden muss. Der Stickstoff wird durch den menschlichen Organismus auch bis auf einen verschwindenden Bruchtheil, wie die neueren Untersuchungen *) zeigen, durch den Darm und die Nieren abgeschieden, so dass die Trockensubstanz der Gesammtexcrete procentisch reicher an Stickstoff sein muss, als es die verzehrten Nahrungsmittel gewesen sind, genau, wie wir Dies für den Stoffwechsel bei unsern Hausthieren hervorzuheben hatten. Ebenso werden auch die unorganischen Bestandtheile auf dem Wege durch den Organismus in Bezug auf die Trockensubstanz eine Anreicherung erfahren müssen.

Bei der Betrachtung der Veränderungen, welche die Nahrungsstoffe beim Durchgang durch die Leiber unserer Hausthiere erfahren, mussten wir nothwendig berücksichtigen, ob die Elemente der Nahrung denn alle in den Excrementen und den Athmungsgasen wieder aufgefunden werden konnten. Wir hatten zu berücksichtigen, dass der thierische Körper unter Umständen einen Theil der Nahrung für sich behält, auf Kosten desselben einen Zuwachs erleidet, wie wir Dies für Mastthiere, tragende Mutterthiere und Jungvieh kennen gelernt haben, oder dass der thierische Körper noch gleichzeitig neben den Excrementen und den Perspirationsgasen Produkte in sehr erheblichem Massstabe liefert, wie Dies beim Milchvieh der Fall ist. In allen diesen Fällen kann stets nur ein Bruchtheil des Stickstoffs und der Aschenbestandtheile der Nahrung, ferner ein geringerer Bruchtheil der Trockensubstanz in den Excrementen aufgefunden werden, als bei Thieren, die keine solche Sekrete liefern und sich im Erhaltungsstadium befinden. Wir haben hervorgehoben, dass die Möglichkeit, dauernd thierische Producte zu erzeugen

*) Vergl. namentlich C. Voit: Zeitschrift f. Biologie. 1868. p. 297.

und auszuführen, eben auf dem Stattfinden eines solchen Ansatzes, auf der Bildung eines solchen Sekretes beruht, dass im andern Falle die landwirthschaftlichen Nutzthiere nur als Arbeitsthiere gebraucht werden könnten. Diese Betrachtung war nothwendig, um zu einer Beurtheilung der nothwendigen Zusammensetzung des Stallmistes zu gelangen.

Es ist nun mit wenig Worten darauf aufmerksam zu machen, dass Etwas Analoges bei der menschlichen Ernährung nicht besteht. Wohl ist auch der menschliche Organismus vorzugsweise in der Jugendperiode einem Wachsthum unterworfen; aber der Zeitraum, in welchem Ansatz stattfindet, und die Grösse dieses Ansatzes sind im Verhältniss sehr viel kleiner als bei den landwirthschaftlichen Nutzthieren, wo solche Perioden vorzugsweise benutzt werden, ein solcher Ansatz künstlich herbeigeführt wird. In der That stellen die menschlichen Leichen die einzige Substanz dar, wenn wir die kleine Menge von Stoffen, die ausser den eigentlichen Excreten noch regelmässig gebildet und entfernt werden, wie Haare, Nägel, Hautschuppen u. s. w. wie billig vernachlässigen, die jenes dennoch in geringem Massstab bestehende Deficit zwischen Nahrungsmitteln und Excreten ausmachen. Diese Leichen repräsentiren indessen im Vergleich mit den sehr grossen Menge von Stoffen, die den Organismus während des Lebens passirt haben, nur eine ziemlich verschwindende Menge von Pflanzenwachsthumsbedingungen, einfach weil das menschliche Leben bei gleichzeitiger hoher Intensität des menschlichen Stoffwechsels, namentlich aber im Vergleich zu dem oft sehr rasch abgekürzten Leben unserer Nutzthiere, ungewöhnlich lange dauert.

So finden wir in den menschlichen Auswurfstoffen fast *) alle Bestandtheile wieder, die dem Stalldünger fehlen, damit dieser im Stande ist, in Bezug auf die Erhaltung der Fruchtbarkeit der Felder Das zu leisten, was die ursprünglich geerntete Pflanzenmasse, wenn sie dem Feld, dem sie entnommen, erhalten worden wäre, geleistet haben würde. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass die Quellen jenes Deficits fast vollkommen verstopft werden könnten, wenn man die menschlichen Auswurfstoffe, wie sie sich in den Städten anhäufen, der Landwirthschaft wieder zuführen würde. Nur die Düngebestandtheile einiger Handelsgewächse, wie z. B. unserer Gespinnstpflanzen, des Tabaks u. s. w., einer Anzahl von thierischen Abfällen, sowie die in den menschlichen Leichen enthaltenen Stoffe würden einen bleibenden Ausfall bedingen, einen Ausfall, der jedoch theilweise scheinbar ist, als ja namentlich im Strassenkehricht, der meistens den Kloakenstoffen einverleibt wird, viel von jenen abgenutzten Stoffen enthalten sein muss, und die Kirchhöfe ja mit der Zeit wieder zu Ackerfeldern werden können.

Wir werden also nicht weit fehlen, wenn wir die menschlichen Auswurfstoffe als das natürliche Supplement zum Stallmist betrachten, mit dem zusammen verwendet Felder und Wiesen sehr lange Zeit hindurch in Bezug auf gewisse Pflanzennährstoffe (die mineralischen) constant erhalten werden könnten, in Bezug auf andere (sog. atmosphärische) eine stetige Bereicherung erfahren müssten. Dieser Satz ist von Bedeutung, weil auf denselben wichtige, wiewohl unzulässige Folgerungen in Hinsicht unserer wirthschaftlichen Düngegesetze aufgebaut worden sind, — ein Gegenstand, der uns in einer der späteren Vorlesungen (der neununddreissigsten) beschäftigen soll.

*) Von dem Verbleib des noch übrigen Deficits wird später die Rede sein.

Vorerst interessirt uns hier die Thatsache, die sich aus den vorstehenden Erwägungen ohne Weiteres ergibt, dass auch die Zusammensetzung der menschlichen Auswurfstoffe sich aus der Zusammensetzung der ausgeführten landwirthschaftlichen Produkte nahezu berechnen lassen muss, wenigstens soweit Dies den Stickstoff und die mineralischen Bestandtheile angeht. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Menschen nicht ganz ausschliesslich von den Produkten der Landwirthschaft oder gar der inländischen Landwirthschaft leben, und wenn wir auch selbstredend ein wichtiges Nahrungsmittel, das Wasser, ganz wie überall in diesen Betrachtungen vernachlässigen, so bleiben noch Nahrungsmittel übrig, die dem Meere, den Flüssen, ausländischen Kolonieen entstammen, Stoffe, die indessen auch die Zusammensetzung der Auswurfstoffe nicht wesentlich zu verändern vermögen, und endlich ein Genussmittel, das Kochsalz, das wohl im Stande ist die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Abtrittdüngers einiger Massen zu alteriren. Mit Ausnahme jedoch dieses Kochsalzgehaltes, der bei den thierischen Düngestoffen auch bei besonderer Kochsalzfütterung niemals in so bemerkenswerther Weise hervortritt, und welcher dem Abtrittdünger in vielen Fällen ganz eigenthümliche Wirkungen ertheilt, lässt sich die Zusammensetzung der menschlichen Auswurfstoffe aus den gegebenen Gesichtspunkten einiger Massen voraussehen.

Wir theilen zunächst die Zusammensetzung der vereinigten menschlichen Auswurfstoffe nach einer Berechnung von Heiden*) im Vergleich mit der einiger thierischen Excremente mit, ohne auf die Betrachtungen des Stoffwechsels nochmals näher einzugehen.

Gesammtauslerungen

	vom Menschen		vom Rind			vom Pferd.		
Wasser	92,9%	a. 100 Asche	86—89%		a. 100 Asche	76—79%		a. 100 Asche
Org. Substanz	5,7	408	10—12		450—550	19		630
Stickstoff	1,06	76	0,34—0,44		15—20	0,6		19
			Koth	Harn		Koth	Harn	
Kali	0,22	16	0,05	1,3	15 ?	0,35	1,6	30 ?
Phosphorsäure	0,23	17	0,15	0	2 ?	0,32	0	3 ?
Asche	1,37	100	2,1—2,4		100	3,15		100

Obgleich die für die menschlichen Ausleerungen gemachten Angaben Durchnittszahlen aus einer Reihe von Analysen sind und nur das Mittel repräsentiren von der je nach Ernährung der Individuen sehr verschiedenen Zusammensetzung der Excremente, so sind diese Abweichungen doch nicht gross genug, um nicht auf Grund jener Zahlen eine stichhaltige Vergleichung mit der Durchschnittszusammensetzung der Excremente unserer Hausthiere zu gestatten.

Um die Ursachen der Unterschiede, welche sich bei dieser Vergleichung ergeben werden, sogleich einzusehen, theilen wir an dieser Stelle die Zusammensetzung der hauptsächlichen menschlichen Nahrungsmittel neben der des hervorragendsten Futterstoffs jener Haussäugethiere mit **).

*) Vergl. Düngerlehre II. p. 190. Daselbst befinden sich in Bezug auf die Angaben der jährlich gelieferten Mengen kleinere Druck- oder Rechenfehler.

**) Nach den Durchschnittszahlen von E. Wolff.

	Weizen (Korn).		Fleisch (Ochs).		Heu.	
Wasser	14,3%	a. 100 Asche	77%	a. 100 Asche	14,4%	a. 100 Asche
Org. Substanz	83,9	4740	21,7	1720	78,9	1180
Stickstoff	2,08	117	3,60	286	1,31	19
Kali	0,55	21	0,52	42	1,71	26
Phosphorsäure	0,82	46	0,43	34	0,41	6
Asche	1,77	100	1,26	100	6,66	100

Es wurden neben die procentischen Zusammensetzungen der einzelnen Auswurfstoffe und Nahrungsmittel noch die auf 100 Aschenbestandtheile bezogenen Zahlen gesetzt, weil auf diese Weise Das, was hier gezeigt werden soll, klarer hervortritt. Bei der blossen procentischen Angabe des Gehalts an den einzelnen Stoffen, auf die wir unsere Aufmerksamkeit richten möchten, stört der ausserordentlich verschiedene, in gewisser Beziehung gänzlich zufällige Wassergehalt der einzelnen Nahrungsmittel und Auswurfstoffe; nimmt man die Trockensubstanz als Grundlage, so ist ein ähnlicher Uebelstand bemerkbar, denn dieselbe ist ebenso wie die wasserhaltige Substanz für unsere Betrachtungen eine variable Grösse, da ein grosser Bruchtheil der organischen Substanz bei dem Durchgang durch den Organismus zerstört wird. Dagegen sind die Aschenbestandtheile Etwas völlig Constantes, dieselben treten, soweit kein Ansatz erfolgt, in durchaus unveränderter Menge wieder aus dem Organismus aus, und durch Beziehung auf sie gewinnt man einen klaren Ueberblick über den relativen Gehalt der Nahrungsmittel und der Ausleerungen an den andern Bestandtheilen. Beziehungen, die vorher bei der einfachen procentischen Angabe ganz dunkel bleiben mussten, treten sofort ans Licht.

Aus den so gewonnenen Zahlen ist denn nun klar erkenntlich, dass die menschlichen Auswurfstoffe, bezogen auf gleiche Menge von Aschenbestandtheilen (wie auch in Procenten der frischen Substanz), weit stickstoffreicher sind, als die Auswurfstoffe unserer Hausthiere *), und es ist leicht erkenntlich, dass der so auffällige Unterschied seine Ursache hat in dem gleichen Verhältniss zwischen den Nahrungsmitteln der betreffenden Organismenklassen. Fleisch und Korn haben freilich noch ein weit günstigeres Stickstoffverhältniss, das eben durch gleichzeitiges Geniessen von anderen aschereicheren Nahrungsmitteln: Gemüse, Kartoffeln und namentlich Kochsalz herabgedrückt wird. Auf genau dieselbe Weise erklärt sich der hohe Phosphorsäuregehalt der Asche der Menschenexcremente, gegenüber dem der Asche der thierischen Excremente **), während in Bezug auf Kali sich keine so handgreiflichen Unterschiede geltend machen, wiederum ganz entsprechend dem Kaligehalt der Aschen der respectiven Nahrungsmittel. Der Einfluss von der Nahrung auf die Zusammensetzung der Ausscheidungen ist nach dieser Darstellungsweise unverkennbar.

Die so gewonnenen Beziehungen wären, ohne die von uns gewählte Betrachtungsweise, in keiner Hinsicht hervorgetreten, da der sehr grosse Wassergehalt der mensch-

*) Das Hiergesagte gilt auch selbst für das Schaf, dessen Ausleerungen in obiger Zusammenstellung nicht berücksichtigt wurden.

**) Auch hieraus ist wieder die unzertrennliche Vergesellschaftung von N u. P, auf die wir früher hingedeutet haben (vergl. die fünfzehnte Vorlesung p. 242) klar ersichtlich.

lichen Ausleerungen (der sich einfach erklärt aus dem besonders reichlichen Genuss der Menschen von Wasser und von anderen Getränken) und andererseits der sehr ungleichmässige Wassergehalt der betreffenden Nahrungsmittel die Vergleichung ausserordentlich erschwert.

Aber nicht blos über das relative Verhältniss in den menschlichen und thierischen Ausleerungen an einzelnen düngenden Bestandtheilen und über die Ursache dieses Verhältnisses gibt uns eine derartige Betrachtung Aufschluss; sie lehrt uns gleichzeitig, welche Stoffe es vorzüglich sind, die jenes vielbesprochene Deficit im Stallmist vom Standpunkte des absoluten Ersatzes ausmachen, sie lehrt uns, dass in Form von Korn und Fleisch vorzugsweise Stickstoff und Phosphorsäure in die Städte wandern und dort sich in den menschlichen Excrementen anhäufen, während für Kali ein solches Verhalten in keiner Weise in den Vordergrund tritt. Wir haben so neben der Vorstellung von dem quantitativen Ausfall an düngenden Bestandtheilen bei der reinen Stallmistwirthschaft uns auch einen Begriff gebildet von der qualitativen Zusammensetzung dieses Ausfalls, was natürlich für manche Betrachtungen von erheblicher Wichtigkeit ist.

Ehe wir nun von der Bedeutung der menschlichen Ausleerungen als Düngestoffe in physischer und ökonomischer Hinsicht das Nöthige sagen, müssen wir noch etwas näher auf die Zusammensetzung dieser Excremente und auf die Vertheilung der sie constituirenden Stoffe auf Harn und Koth eingehen. Zunächst sind wir auch im Stande, Mittheilungen über die durchschnittliche Menge dieser Ausleerungen für das einzelne Individuum zu machen — Zahlen, welche für alle Berechnungen bezüglich der landwirthschaftlichen Verwendung der Kloakenstoffe durchaus nicht entbehrt werden können. Man nimmt als Durchschnittsziffer für die täglichen Ausleerungen eines Individuums 1333 Gramm an, d. i. für die binnen eines Jahres abgeschiedene Menge 486,54 Kilogramm oder 973,1 Pfund, also nahezu 1000 Pfund *). Es bietet diese Zahl eine grosse Bequemlichkeit dar, weil so zugleich die oben gemachten procentischen Gehaltsangaben an einzelnen Bestandtheilen uns Auskunft geben über die jährliche absolute Ausscheidung an diesen Bestandtheilen, indem man jene Procente nur mit 10 zu multipliciren braucht, um ungefähr in Pfunden die Grösse der durchschnittlichen jährlichen Ausscheidungen zu kennen.

Wir wissen also zugleich, dass ein erwachsenes menschliches Individuum im Durchschnitt ungefähr 57 Pfund organische Stoffe, 10 Pfund **) Stickstoff, 2 Pfund Kali und Etwas mehr Phosphorsäure jährlich durch Blase und Darm abscheidet, wodurch wir sehr handliche Anhaltspunkte für Berechnungen gewinnen.

Von ebenso grosser Wichtigkeit ist die Vertheilung dieser Bestandtheile auf Harn und Koth, namentlich wegen der so allgemein üblichen Verschleuderung der ersteren flüssigen Ausleerungen. Die absolute Menge des entleerten Harns ist beim Menschen beinahe die zehnfache von der der frischen festen Excremente, allein natürlich repräsentirt ersterer wegen seines sehr viel grösseren Wassergehalts nicht die zehnfache Menge an einzelnen für den Düngerwerth in Betracht kommenden Substanzen. Derselbe enthält vielmehr dieser grösseren Verdünnung entsprechend

*) Vergl. Heiden a. a. O.

**) Nach den Wolff'schen Angaben nicht unbeträchtlich weniger Stickstoff.

absolut nur etwa die doppelte Menge von organischen Substanzen, die anderthalbfache Menge Phosphorsäure (an diesen beiden Substanzen ist er relativ am ärmsten) nicht ganz die vierfache Menge Kali, aber beinahe die sechsfache Menge an Stickstoff, als die festen Excremente. Für die thierischen Ausleerungen sind diese Verhältnisse, da zuverlässige Angaben über die absoluten Mengen der festen und flüssigen Excremente in dieser Richtung noch nicht verwerthet sind, nicht zur Hand, haben freilich aber auch wegen der für diese herrschenden Aufsammlungsmethoden nur eine untergeordnete Bedeutung.

Aus den gemachten Mittheilungen ist deutlich ersichtlich, dass bei Weitem der grössere Bruchtheil von einzelnen düngenden Bestandtheilen sich im Harn befindet. Dies erlaubt auch zugleich einen Schluss auf die Schnelligkeit der Verwerthung dieser Bestandtheile als Pflanzennahrung. Der Stickstoff, der sich seiner absoluten Menge nach fast ganz und gar (wenn auch seinem relativen Gehalte nach in etwas geringerer Menge) im Harne befindet, ist daselbst als Endproduct des Stoffwechsels, als Harnstoff (nur in zurücktretenden Quantitäten, als Harnsäure und andere stickstoffhaltige Substanzen) vorhanden, also in einer Form, wo er geradezu als ein direktes Pflanzennahrungsmittel dienen kann, wenn er auch in der Regel vorher noch Umwandlung in Ammoniak- und salpetersaure Verbindungen erleiden wird. Es ist für manche Schlüsse auch wichtig, Dies im Auge zu behalten.

Wenn wir nun von der Bedeutung der menschlichen Ausleerungen als Düngestoffe zu sprechen beginnen, so ist vor Allem festzuhalten, dass die Zusammensetzung der gemischten Ausleerungen durchaus nicht vollkommen identisch ist mit dem Abtrittdünger, wie er nach unseren zur Zeit bestehenden Sitten und Gebräuchen nun einmal zur Verwendung kommen kann. Wir werden bei Zusammenstellung der betreffenden Zahlen erkennen, dass die Kloakenstoffe in ihrem durchschnittlichen Gehalt an werthvollen düngenden Bestandtheilen weitaus hinter dem frischen Gemisch der menschlichen Ausleerungen zurückstehen, und die Ursache dafür in unseren Gewohnheiten erkennen. Man wird sich freilich die Frage stellen, warum auch an Orten, wo der Inhalt der Kloaken zur Düngung Verwendung findet, eine rationellere Behandlung des Abtrittdüngers, welche jene Verdünnung und damit seine Entwerthung verhütet, nicht mehr und mehr jene Gewohnheiten verdrängt; man wird aber dann später einsehen, dass die Prämie, welche durch die Erhöhung des Düngerwerths auf Aenderung unserer Bequemlichkeiten gesetzt ist, in den meisten Fällen doch nicht hoch genug ist, um uns zu dieser Aenderung zu veranlassen.

Das Verhältniss der Zusammensetzung der frischen Ausleerungen den Stoffen gegenüber, wie sie sich durchschnittlich in unsern Abtrittgruben vorfinden, ist aus folgender Zusammenstellung deutlich ersichtlich. *).

*) Vergl. Wolff: Pract. Düngerlehre p. 165.
In Karlsruhe wurden häufiger Analysen des Abtrittdüngers ausgeführt und erhalten:

0,35—0,41% Stickstoff,
0,14—0,19% Kali,
circa 0,19% Phosphorsäure,

also in Bezug auf Stickstoff und Kali annähernd dieselbe Menge. Der Wassergehalt war der gleiche, ebenso annähernd der Gehalt an organischen Stoffen. Vergl. Landw. Wochenblatt. 1869. Nr. 33.

	Excremente.	Abtritt.
Wasser	92,9%	97,0%
Organ. Substanz	5,7	1,5
Stickstoff	1,06	0,35
Kali	0,22	0,20
Phosphorsäure	0,23	0,28
Asche	1,37	1,5

Die Richtung der erlittenen Veränderung liegt klar vor Augen. Wasser ist hinzugekommen, weil Spülwasser in die Abtrittsgruben gelangt; trotzdem hat die Asche und speziell Kali und Phosphorsäure eher zugenommen, weil Kehricht und namentlich die Asche unserer Brennmaterialien vielfach jenen Gruben einverleibt werden. Dagegen haben Stickstoff und organische Substanz eine sehr bedeutende Verminderung erlitten, nicht blos weil andere Stoffe hinzugekommen sind, sondern weil Fäulniss und Verwesungserscheinungen unter Entwickelung von Kohlensäure und Ammoniak *) stattgefunden haben.

Dass indessen eine solche Durchschnittszusammensetzung nicht massgebend sein kann für alle einzelnen Fälle, geht ausser aus der schon früher geltend gemachten verschiedenen Ernährung namentlich verschiedener Gesellschaftsklassen, aus der weit von einander abweichenden Verschiedenheit der Aufsammlungsarten und unserer sonstigen Gewohnheiten hervor. Je nachdem die Stoffe durch das längere oder kürzere Verweilen in einer so oder so beschaffenen Grube Gelegenheit haben, eine mehr oder weniger tief eingreifende Zersetzung durchzumachen, je nach der Beschaffenheit der Substanzen, die noch sonst jenen Gruben einverleibt werden, wird das Endresultat ein sehr verschiedenes sein. Allein man wird aus der Kenntniss der üblichen Behandlungsarten und aus der Vergleichung der producirten Gesammtmenge mit der pro Kopf sich berechnenden Menge ein Urtheil sich bilden können über den Gehalt der in den Gruben enthaltenen Massen.

Die verschiedene Zusammensetzung und Düngebefähigung der menschlichen Auswurfstoffe je nach der besseren oder schlechteren Ernährung der Menschen, von denen sie herrühren, ist durchaus nicht lediglich eine theoretische Folgerung, sondern eine in der Praxis anerkannte Thatsache. Es wird erzählt, ein französischer Landwirth habe aus einer grösseren Stadt, in deren Umgebung sein Gut sich befand, Latrinenstoffe für die Düngung seiner Felder erhalten und habe einmal mit diesen Stoffen, welche er aus den Gruben eines grösseren Gasthofes bezogen, so glänzende Erfahrungen gemacht, dass er nun mit einer Reihe von öffentlichen Anstalten, Kasernen, Zuchthäusern und dergleichen Contracte über die Lieferung der Latrinenstoffe abgeschlossen habe, in der Hoffnung, dieselben günstigen Erfahrungen zu wiederholen. Allein er habe nun bei diesem Handel ziemlich schlechte Geschäfte gemacht und gesehen, dass er mit Unrecht die menschlichen Ausleerungen jeder Herkunft als einander gleichwerthig angesehen habe.

Ja man geht in diesen Erzählungen noch weiter und behauptet, dass die acker-

*) Der stechende Ammoniakgeruch der meisten Aborte ist ja bekannt genug.

bautreibende Bevölkerung in der Umgegend irgend einer oberitalienischen Stadt den Auswurfstoffen der protestantischen Stadtbewohner einen höheren Werth beilege als den der katholischen, und will diese raffinirte Unterscheidung dadurch erklären, dass die protestantische Einwohnerschaft jener Stadt die arbeitsamere, intelligentere und darum wohlhabendere sei, die sich daher besser ernähre und darum auch werthvollere Ausleerungen erzeuge.

Mögen diese Erzählungen nun richtig sein oder nicht, jedenfalls lässt sich behaupten, dass die Excremente gut ernährter Menschen qualitativ reichhaltiger an den werthvollsten düngenden Bestandtheilen sind und sein müssen als die schlecht ernährter, und zwar lässt sich diese Behauptung *) vornehmlich auf zwei Gesichtspunkte zurückführen. Einmal sind die stickstoffhaltigen Nährstoffe die schmackhafteren und theueren, und arme Leute, welche an ihnen sparen möchten, überhaupt ihren Stoffumsatz auf ein Minimum herabzudrücken suchen werden, wählen ganz allgemein zu ihrer Kost ein Nährstoffverhältniss, in dem die Proteïnstoffe verhältnissmässig zurücktreten, ein stickstoffarmes Nahrungsgemisch, dem selbstverständlich, nach dem Oben über das Verhältniss von Ernährung zu Ausscheidung gemachten Bemerkungen, stickstoffarme Gesammtausleerungen entsprechen. Dass solche stickstoffarme Ausleerungen gleichzeitig phosphorsäurearme sein werden, versteht sich nach den früheren Ausführungen über die intime Kameradschaft dieser beiden Substanzen gleichfalls von selbst. — In zweiter Linie kann dann hervorgehoben werden, dass die leichter verdauliche Substanz gleichfalls kostspieliger ist und auf dem Küchenzettel des Begüterten eine hervorragende Rolle einnimmt, dass also bei ihm verhältnissmässig mehr, namentlich auch von dem genossenen Stickstoff in den Stoffwechsel eingeht **), und im Harn ausgeschieden wird, also den Pflanzen zugänglicher wird, als der Stickstoff, der in der Kost des Aermeren vorhanden ist und welcher zu einem grösseren Theil in noch unaufgeschlossener Form in die Darmausleerungen übergeht.

Dass die verschiedene Behandlungsweise der gesammelten Auswurfstoffe, deren grössere oder geringere Verunreinigung mit anderen oft werthlosen Stoffen einen auch durch die praktische Erfahrung bestätigten Einfluss auf die Düngebefähigung dieser Substanzen hat, ist durch viele Beispiele bekannt genug und bedarf keiner besonderen Belege.

Was nun im Folgenden über die Bedeutung der menschlichen Excremente als Düngstoffe gesagt werden wird, gilt theilweise nur für die Voraussetzung der bei unseren Aufsammlungsmethoden gewöhnlichen Durchschnittszusammensetzung derselben. Führen wir uns vorerst noch einmal diese im Vergleich mit der einiger Stallmistsorten vor Augen.

---

*) Dieselbe ist durchaus keine selbstverständliche, wie der Laie in diesen Dingen glauben möchte.

**) Es ist dabei im Auge zu behalten, dass ein grösserer Reichthum an verdaulichen Proteïnstoffen eine bedeutende Vergrösserung des Gesammtstickstoffumsatzes zur Folge hat. Vergl. über diese Beziehungen besonders die Abhandlungen C. Voits in der Zeitschrift für Biologie.

	Abtritt.	Frischer Mist Pferd.	Rindvieh.	Durschschn. Stallmist.	Durchschn. Jauche.
Wasser	97,0%	70,0%	81—84%	75%	98,2%
Organische Substanzen	1,5	26,3	13—16	18,1	0,7
Stickstoff	0,35	0,67	0,37—0,45	0,53	0,15
Kali	0,20	0,94	?	0,68	0,49
Phosphorsäure	0,28	0,14	?	0,32	0,01
Asche	1,5	3,7	2,3—2,5	6,91	1,07

Der Vergleich zeigt uns deutlich, dass der Abtrittdünger seiner gewöhnlichen Beschaffenheit nach weit wasserreicher ist als irgend eine Stallmistsorte und viel, viel ärmer an organischen Substanzen. Das letztere wird namentlich erklärlich durch die Beimengung des organischen Streumaterials im letzteren Falle, sowie auch durch die voluminösen Darmausleerungen aller pflanzenfressenden Haussäugethiere. Hinsichtlich des Gehalts an Wasser und organischen Bestandtheilen nähern sich die Latrinenstoffe vielmehr ausserordentlich der Mistjauche.

Im Verhältniss zum Substanzgehalt der wässrigen Latrinenstoffe überhaupt fällt dann den Stalldüngersorten gegenüber der hohe Stickstoffgehalt jener auf, da dieser beinahe die absolute Höhe des Stickstoffgehalts des Stalldüngers erreicht. Für Phosphorsäure gilt Dasselbe in erhöhtem Massstab, während der Kaligehalt verhältnissmässig gering ist. Auf diese letzteren Unterschiede kommt dann auch die Gehaltsdifferenz zwischen den Latrinenstoffen und der Mistjauche heraus; der Stickstoffgehalt und noch mehr der Gehalt der Latrinenstoffe an Phosphorsäure ist sehr viel höher, der Kaligehalt beträchtlich geringer als der der Jauche.

Aus dem Allen zusammen muss sich dann die Düngewirkung der Latrinenstoffe klar ergeben, dieselben werden einerseits der Jauche ähnlich aller sogenannter physikalischer Wirkung auf Lockerung der Ackererde entbehren und sehr rasch zur Wirksamkeit gelangen; allein sie sind natürlich spezifischere Stickstoff- und Phosphorsäuredünger, wodurch ihre Wirksamkeit für Böden von gewissem Düngungszustande und für manche Kulturen eine abweichende wird.*)

Dazu kommt noch eine spezifische, nicht durch die aufgeführten Analysen verdeutlichte, aber früher schon erwähnte Eigenschaft des Abtrittdüngers, sein verhältnissmässig hoher Kochsalzgehalt in Betracht. Wir werden nun zwar später **) einige nützliche Wirkungen zu beleuchten haben, welche Kochsalzdüngungen im Boden anzubahnen vermögen; allein wir erinnern zugleich an einige im ersten Abschnitt gemachte Bemerkungen über die Schädlichkeit eines chlorhaltigen Nährbodens für manche Kulturen, für Tabak, Rüben, Kartoffeln ***). Für diese kann geradezu — und Dies ist z. B. für den Tabak in der badischen Pfalz mit ziemlicher Sicherheit festgestellt worden †) — die oft wiederholte Düngung mit Latrinenstoffen qualitätsverschlechternd wirken.

---

*) Indessen kommt diese Zusammensetzung selten in Betracht, da die Latrinenstoffe gerade die beiden im Boden spärlichst vorhandenen Nährstoffe enthalten.

**) Vergl. die achtunddreissigste Vorlesung p. 285.

***) Vergl. die fünfzehnte Vorlesung p. 252.

†) Vergl. J. Nessler: Der Tabak u. s. w. 1867. p. 75.

Abgesehen von den so sich ergebenden Unterschieden, die auch eigenthümliche Massregeln erfordern, lauten die Angaben über praktische Verwendung des Abtrittdüngers ziemlich ähnlich wie über die der Jauche. Derselbe wird auch wie diese als Kopfdüngung angewendet, wobei jedoch in den meisten Fällen eine Verdünnung mit Wasser vorgenommen werden muss, wie Dies ja auch in den meisten Fällen mit der Jauche geschieht. Ganz besonders hervorragend ist dann die Anwendung des Abtrittdüngers in der Gemüsegärtnerei, da er gerade der Gartenkultur, welche sich naturgemäss um die grösseren Städte herum concentrirt, ausserordentlich zur Hand ist, und die Gartengewächse eines Düngers bedürfen, der ihnen sofort Nährstoffe in reichlichstem Masse und in zugänglichster Form zur Verfügung stellt. Auf dieselben Gesichtspunkte lässt sich dann die Verwendung des Abtrittdüngers zu anderen intensiven Kulturen zurückführen.

Der Jauche gegenüber verdient noch hervorgehoben zu werden, dass der Abtrittdünger, sowohl seiner Entstehungsweise nach als nach seiner Zusammensetzung ein vollständigeres Düngemittel ist als jene, und dass er die einzelnen düngenden Bestandtheile mehr in dem Verhältniss enthält, wie sie in die Zusammensetzung der Pflanzen eingehen, und besonders die beiden Stoffe, an denen der Mangel im Boden durchschnittlich am Grössten ist, in reichlichem Masse enthält. Wir haben nun zwar in der letzten Vorlesung auseinandergesetzt, dass durchaus nicht diejenigen Düngestoffe, welche schon in ihrem Gehalte die Zusammensetzung eines zu bauenden Gewächses möglichst genau darstellen, sich im einzelnen Falle nothwendig als die richtigste Düngung erweisen müssen. Allein Dem gegenüber verdient jetzt hervorgehoben zu werden, dass eine andauernde alleinige Düngung durch längere Zeiträume hindurch nur durch Düngemittel wird gegeben werden können, welche in ihrer Zusammensetzung die der Pflanzen einiger Massen repräsentiren, wie denn überhaupt für längere Perioden das Kriterium des Ersatzes des Entnommenen ein immer wichtigeres und wichtigeres wird. Eine ausschliessliche Düngung mit Jauche ist, des geringen Gehalts dieser Flüssigkeit an Phosphorsäure wegen und auch wegen deren unverhältnissmässigen Kalireichthums, längere Zeit hindurch nur für wenige Kulturen von sehr einseitigem Bedürfniss denkbar, während eine Bewirthschaftung mit dem Anbau aller möglichen Früchte und der ausschliesslichen Verwendung von Latrinenstoffen in manchen Böden durch sehr viel längere Zeit hindurch thatsächlich geschehen kann.

Der Möglichkeit der ausgedehntesten Anwendung des Abtrittdüngers in der Landwirthschaft stehen überhaupt, wenn wir die wirthschaftlichen Gesichtspunkte noch einstweilen ausser Acht lassen wollen, nur zwei Bedenken entgegen, einmal der schon hervorgehobene Mangel an der sogenannten physikalischen Wirkungsfähigkeit, der seine alleinige Anwendung z. B. auf sehr schweren Böden verbietet, und dann die Qualitätsverschlechterung, die bei seiner Verwendung an den angebauten Früchten beobachtet worden ist. Hierhin ist nicht blos zu rechnen die vorhin hervorgehobene ungünstige Wirkung seines hohen Kochsalzgehaltes, sondern es ist von vielen Seiten behauptet worden, dass man an den mit Abtrittdünger gedüngten Gewächsen einen ekelhaften Geschmack bemerkt habe*). Dieser letztere Umstand, gegen den es natürlich

*) Vergl. über diesen Gegenstand Göbel: Agrikulturchemie 1858. p. 12.

nicht möglich ist, theoretischer Seits vorzugehen *), da eine Aufnahme gewisser riechender Principien durch die Aufsaugungsorgane der Pflanze als sehr leicht denkbar erachtet werden muss, und in Bezug auf den die praktische Erfahrung zu oft in Uebereinstimmung mit einander die Stimme erhoben hat **), steht jedoch einer ausgedehnteren Anwendung der Latrinenstoffe durchaus nicht im Wege, da man ja die empfindlicheren Pflanzen nicht nach einer frischen Düngung ***) zu bringen braucht, da man durch Kompostirung und dergl. jedenfalls einen Theil der riechenden Principien zerstören kann, sondern verbietet nur eine unvorsichtige direkte Anwendung zu allen Kulturen und namentlich zur Zeit des Pflanzenwachsthums.

Als durchaus nicht entsprechend dieser im Allgemeinen so hohen Düngebefähigung der menschlichen Auswurfstoffe und des aus ihnen hervorgehenden Abtrittdüngers erscheint deren praktische Anwendung in der Landwirthschaft, zumal wenn man die statischen Erwägungen berücksichtigt, in Folge deren wir Eingangs dieser Vorlesung jene Stoffe als das natürliche Supplement des Stalldüngers, der für sich nur fähig ist, einen ungenügenden Ersatz zu leisten, anzusehen uns berechtigt fühlten. Wenn es auch nicht richtig ist, wie man noch vor Kurzem aussprechen hörte, dass die Verwendung der menschlichen Excremente wenigstens in Europa wesentlich die Errungenschaft einer ganz neuen Zeit, vielleicht gar die Folge der naturwissenschaftlichen Einsicht in die Gesetze der Pflanzenernährung sei, wenn auch sorgfältigere Nachforschungen über die Gebräuche älterer Kulturvölker es über allen Zweifel erhoben haben, dass die menschlichen Excremente schon in sehr alter Zeit und in manchen Orten wohl auch einen grossen Theil des Mittelalters hindurch in grossem Massstab Verwendung gefunden haben, so bleibt es doch auf den ersten Blick auffallend, dass diese Düngungsmethode fast überall mit Ausnahme von China und Japan eine vorübergehende oder rein lokale geblieben und nicht wie die Stallmistdüngung eine allgemeine Betriebsmethode geworden oder geblieben ist.

Ziemlich bekannt ist die Thatsache, dass schon der Kloakeninhalt †) des alten Roms zur Düngung der die Stadt umgebenden Gärten mit Sorgsamkeit Verwendung gefunden hat; unter Vespasian bestand sogar eine Urinsteuer, eine Einrichtung, die selbstredend eine Verwerthung dieser Ausleerungen im grossartigsten Massstab voraussetzt. Weniger bekannt dürfte sein, dass die Araber lange vor Christi Geburt eine Art von *Poudrette*-Fabrikation ††) betrieben, d. h. also die menschlichen Excremente in eine feste, transportable Form brachten. — Im modernen Europa wurde der

*) Heiden hat nemlich versucht, in sehr wenig stichhaltiger Weise, dieses „Vorurtheil" der Landwirthe, wie er es nennt, auch durch Hinweis auf die Theorie der Pflanzenernährung zu widerlegen; vergl. Düngerlehre II. p. 203.

**) Vergl. z. B. Sprengel: Lehre vom Dünger. 1839. p. 146. Aehnliches wird auch von den Excrementen der Schweine behauptet; vergl. ebenda p. 138 u. 230.

***) Uebrigens hat Dies vielleicht seine Schwierigkeiten, da die Wirkung der Menschenexcremente nur kurze Zeit dauert, und namentlich auf leichten Böden alljährliche Düngung vielleicht nöthig sein würde.

†) Vergl. Beheim-Schwarzbach: Beiträge zur Kenntniss des Ackerbaues der Römer. 1866. p. 85 (citirt von Heiden); ferner die Schriften v. Florentinus, Columella und Plinius (Heiden: Düngerlehre II. p. 191).

††) Reynier: Die Landwirthschaft der alten Völker. Heidelberg. 1833. p. 90 (citirt von Konrad: Liebig's Ans. v. d. Bodenerschöpf. 1864. p. 126).

Latrineninhalt vor dessen Empfehlung durch die Naturwissenschaft und abgesehen von der ganz lokalen Verwendung der auf den Landgütern selbst entstehenden menschlichen Auswurfstoffe, die wohl von jeher dem Stallmist oder der Jauche einverleibt worden sind, nur in wenig Ländern, namentlich in der Lombardei und in Flandern *) und einigen anderen Ländern, in verhältnissmässig noch neuerer Zeit aber in ausgedehntem Massstab und jedenfalls ganz unabhängig von der Empfehlung durch die Theorie zu vielen intensiven, namentlich gärtnerischen Kulturen an einer grossen Reihe von Orten verwandt.

Wo die Latrinenstoffe nicht für die Landwirthschaft Verwendung finden, da bestehen Methoden zu ihrer Unschädlichmachung, welche sich im Wesentlichen auf zwei Gesichtspunkte zurückführen lassen; jene gelangen entweder in zum landwirthschaftlichen Betrieb unbenutzten Boden oder in die Flüsse und von da in's Meer. An sehr vielen Orten ist es üblich, wenn man auch vom sanitätspolizeilichen Standpunkte aus mit aller Macht und mit vollem Rechte dagegen kämpft, die menschlichen Ausleerungen geradezu in ungemauerten Senkgruben aufzusammeln, von wo aus dann eine ganz unberechenbare Menge der den Boden vergiftenden Stoffe in diesen einsickert. Nur der nicht versinkende Rest wird gelegentlich abgeführt oder aber die Grube nach Füllung zugeworfen und eine neue gegraben und in Angriff genommen. Dieses System hat so ziemlich alle Schattenseiten, die sich nur bei der Entfernung der menschlichen Auswurfstoffe denken lassen, obschon ein Theil des Düngerwerths erhalten bleibt und beim Wiederaufgraben der Senklöcher unter Umständen gewonnen werden kann.

An andern Orten besteht die sogenannte Kanalisation der Städte, wobei die Auswurfstoffe in unterirdische Kanäle gelangen und gewöhnlich durch fliessendes Wasser weggespühlt werden. Dieses System, welches je nach der Dichte der Röhrenleitungen und dem Verhältniss der zur Verfügung stehenden Wassermenge in gesundheitlicher Beziehung ein ganz vortreffliches oder auch ein sehr gefährliches sein kann, findet sich in manchen der nicht allzu grossen englischen Städte mit einer Ausnutzung der Düngestoffe für die Landwirthschaft in Verbindung gebracht, indem die mit den Auswurfstoffen beladenen Schmutzwässer zur Wiesenüberrieselung verwendet werden; in der Regel aber und überall, wo in Deutschland dieses System in Anwendung ist, kann die Kanalisation als gleichbedeutend betrachtet werden mit einem völligen Verlust des ganzen Düngewerths der weggeführten Stoffe für die Landwirlhschaft, indem die Kanäle in diesem Falle in die Flüsse münden, die Auswurfstoffe in's Meer gespühlt werden, von wo aus eine direkte Wiedergewinnung ein Ding der Unmöglichkeit ist.

Je mehr dergleichen Methoden, welche den Verlust von menschlichen Auswurfstoffen für die Landwirthschaft mit sich bringen, vorwiegen, um so weniger werden natürlich die wirklich verwendeten menschlichen Excremente im Stande sein, das bei der reinen Stallmistwirthschaft bestehende Deficit zu decken.

An dieser Stelle ist es uns leider noch nicht verstattet, die Ursache für diese in Europa so wenig ausgedehnte Verwendung der Latrinenstoffe zu erörtern. Hiezu sind noch einige wirthschaftliche Betrachtungen über die Abhängigkeit der Düngungsmethoden von Bodenfruchtbarkeit und Bedarf an Lebensmitteln, die wir später im Zusammenhang anstellen werden, unerlässlich **). Für jetzt mussten wir uns damit

*) Daher der Name „flandrischer Dünger" für die Latrinenstoffe.

**) Vergl. die neununddreissigste und vierzigste Vorlesung.

begnügen, die rein physische Düngebefähigung der Latrinstoffe zu constatiren und einstweilen auf die geringe Verwendung derselben in der Landwirthschaft hinzuweisen.

Schliesslich mögen hier noch einige Desinfektionsmethoden, die zugleich als Conservirungsmethoden der menschlichen Auswurfstoffe unsere Beachtung verdienen, erwähnt werden. Wie aus dieser Ausdrucksweise hervorgeht, haben diese Methoden gerade wie die Einstreu von Gyps in die Stallungen einen doppelten Zweck, nur dass bei Behandlung der menschlichen Ausleerungen entsprechend der weit kostbareren Gesundheit des Menschen die sanitätliche sowie die ästhetische Seite der Frage mehr in den Vordergrund tritt. Es kann sogar überhaupt fraglich erscheinen, ob irgend dergleichen Mittel angewendet werden würden, wenn man es nicht der Entfernung des üblen Geruchs wegen thäte, sowie zur Beseitigung schädlicher Miasmen.

Allein da dergleichen Mittel gleichzeitig wirklich conservirend auf einige düngende Bestandtheile des Latrinenhalts wirken, so verdienen sie auch hier einer kurzen Beachtung.

Von Zusätzen, die zugleich den üblen Geruch der faulenden Excremente mässigen und conservirend wirken, eben weil die zurückgehaltenen riechenden Stoffe Pflanzennährstoffe sind, ist im Wesentlichen des *Eisenvitriols* Erwähnung zu thun, der einmal ganz analog dem Gypse sich mit dem flüchtigen in faulenden Excrementen vorhandenen kohlensauren Ammoniak zu nicht flüchtigem schwefelsaurem Ammoniak und kohlensaurem Eisenoxydul, das sich dann später zu Eisenoxyd oxydirt, umsetzt, und so den stechenden Geruch des Latrineninhalts verhütet, gleichzeitig aber die Conservirung des Stickstoffgehalts veranlasst, — der andererseits den aus den menschlichen Fäcalmassen (wie aus allen faulenden Proteïnstoffen), sich entwickelnden Schwefelwasserstoff resp. das Schwefelammonium unter Entstehung von Schwefeleisen bindet und so den Geruch nach diesen Substanzen, der besonders beim Entleeren der Düngergruben empfindlich wird, beseitigt.

Ein solcher Zusatz von Eisenvitriol wird an vielen Orten, dem Landwirth, dem man die Grube zum Entleeren überlässt, kontraktisch zur Pflicht gemacht oder von der Polizei angeordnet, mehr weil man die Verminderung des üblen Geruchs auf diese Weise bewirkt, als weil man wirklich sanitätliche Vortheile dadurch mit Bestimmtheit erreicht hätte. Man ist eben hier wie an vielen Orten geneigt das riechende Princip mit dem unbekannten miasmatischen Infektionsstoff gewisser ansteckender Krankheiten zu identificiren. Allein auch dieser Effekt wird durch das vorgeschriebene oder übliche Verfahren nicht vollständig erreicht, einmal weil die Mischung des gelösten Eisenvitriols mit dem Latrineninhalt nicht gleich vollständig geschieht, und dann, weil gewisse riechende Principien, flüchtige organische Säuren durch jenen Zusatz nicht unschädlich gemacht werden. Gerade diese Substanzen, deren Anwesenheit man deutlich erkennt, wenn man mit Schwefelsäure angesäuerte Fäcalmassen oder sonst gefaulte Proteïnstoffe (wie z. B. die Brühe des gedämpften Knochenmehls) auf dem Wasserbade eindampft, entwickeln einen unbeschreiblich eckelhaften Geruch.

Ueber den Düngerwerth der mit nicht zu grossen Mengen von Eisenvitriol versetzten Latrinenstoffe ist zu sagen, dass der Stickstoffgehalt derselben ein etwas grösserer ist und dass man von der Beimischung des Eisenvitriols im Allgemeinen keine schädliche Wirkungen auf die mit solchem Dünger gedüngten Pflanzen beob-

achtet hat, so dass auch der Praktiker, der derartigen Zusätzen gewöhnlich ein grosses Misstrauen entgegenträgt, wenigstens nicht übel auf Dasselbe zu sprechen ist. Der Eisenvitriol soweit dieser unzersetzt in die Ackerkrume gelangt, und ebenso das bei dem Verfahren sich bildende Schwefeleisen, obgleich beide (der erstere durch direkte, das zweite durch indirekte Wirkung) als für das Pflanzenwachsthum schädliche Stoffe anzusehen sind, scheinen auf einen sonst gut bearbeiteten und der atmosphärischen Luft zugänglichen Boden sich rasch genug zu oxydiren, um keinen bemerklichen Schaden zu thun. Uebrigens lehren neuere Untersuchungen über die Heilung des chlorotischen Zustandes von Kulturgewächsen, dass die Pflanzenwurzel lange nicht so empfindlich gegen Eisenoxydulsalze ist, als man früher aus Beobachtungen in versumpften Eisenvitriolhaltigen Böden zu schliessen sich berechtigt glaubte.

Ob dagegen die Desinfektionsmethode mit Eisenvitriol (abgesehen von ihrem gesundheitlichen und namentlich ihrem ästhetischen Werthe) als Conservirungsmethode eine wirthschaftlich rentable ist, ob die durchschnittliche Erhöhung des Düngerwerths, diese als zweifellos festgestellt betrachtet, die Kosten für die Beschaffung des Eisenvitriols deckt, muss mehr als zweifelhaft bleiben. Wenigstens ist man an Orten, wo diese Desinfektionsmethode lange Jahre bestand, von dem Augenblicke an von derselben abgegangen*), als man durch ein neues Entleerungssystem eine leidlich geruchlose Ausräumung der Düngergruben bewerkstelligen konnte, — eine Thatsache, durch welche die aufgeworfene Frage, eine richtige Beurtheilung des Erfolges von Seiten der Unternehmer vorausgesesetzt, eigentlich schon beantwortet ist.

Die übrigen vorgeschlagenen und angewendeten Desinfektionsmittel haben keine erhebliche landwirthschaftliche Bedeutung oder sind für den Düngerwerth der Auswurfstoffe geradezu beeinträchtigend. Dieselben vom gesundheitlichen Gesichtspunkte aus zu beurtheilen, ist unsere Sache nicht; es ist aber wichtig zu constatiren, dass dieser Gesichtspunkt häufig mit dem landwirthschaftlichen Interesse in Widerstreit geräth.

Die Versetzung des Inhalts der Abtrittsgruben mit *Chlorkalk* oder den Rückständen der Chlorfabrikation, chlorhaltigem Manganchlorür, wie sie vielfach bei ansteckenden Krankheiten vorgeschlagen wurde, ist vom landwirthschaftlichen Standpunkte aus eine ganz entschiedene Verschlechterung der Düngstoffe, und in Anbetracht dieser Sachlage dürfte ganz nebenbei die Bemerkung gestattet sein, dass wir nicht etwa sehr gewichtige Anhaltspunkte für die gesundheitliche Wirksamkeit dieser Zusätze besitzen. Man muss nur im Auge behalten, welche buntscheckigen Präservativmittel in der Panik, die eine jede Epidemie zu erzeugen pflegt, sowohl für Desinfektion der menschlichen Auswurfstoffe als in der Form von Medicamenten empfohlen und benutzt werden, und wie häufig die allerwidersprechendsten Mittel, die sich nothwendig in ihrer Wirkung gegenseitig stören müssen, gleichzeitig Verwendung finden.**)

Der *Aetzkalk,* der wohl den menschlichen Auswurfstoffen den widerlichsten Geruch nimmt und ihnen eine leicht zu verarbeitende Form ertheilt, erscheint ebenso

*) In Karlsruhe beim Uebergang zur Entleerung mittelst Saugpumpen.

**) Ich habe selbst gesehen, wie man in der Angst vor der Cholera Eisenvitriol und Chlorkalk nach einander in dieselben Düngergruben geworfen hat.

vom Gesichtspunkt der Verwerthung als Dünger als ein höchst unzweckmässiger Zusatz, da ein grosser Theil des Ammoniaks auf diese Weise in Freiheit gesetzt wird, und hierin liegt auch zum grossen Theil die Ursache der durchgehenden Unbrauchbarkeit der auf dieses Verfahren gegründeten Düngerabfuhrsysteme. Der Zusatz von *Carbolsäure*, der vom gesundheitlichen Standpunkt vielleicht am Ehesten begründet erscheint, trägt wenigstens nicht das Geringste zu einer Erhöhung der düngenden Wirkung bei, obgleich er die Latrinenstoffe unmässig vertheuert. — Kurz die Landwirthschaft muss sich gegenüber allen diesen Methoden auf den Standpunkt stellen, dass sie sich, wenn Dies aus wirthschaftlichen Gründen überhaupt zulässig ist, für die Verwendung der menschlichen Ausleerungen in möglichst frischem und unzersetzten Zustande erklärt, oder wenigstens, dieselben in diesem Zustande zur Bereitung von Komposten und dergleichen zu verwenden, unternimmt.

Sechsunddreissigste Vorlesung.

Weitere Düngemittel organischen Ursprungs. — Natürliche und künstliche Düngemittel.

Wir haben in der vorigen Vorlesung gesehen, dass die menschlichen Excremente in einem gewissen Sinne ein Supplement bilden zum Stalldünger. Wir haben gesehen, dass in Folge der Arbeitstheilung sich nur ein je nach der Kulturstufe eines Volkes grösserer oder kleinerer Theil der Menschen mit der Produktion der landwirthschaftlichen Erzeugnisse befasst, dass der Landwirth zur Befriedigung seiner nicht im Bereich der eigenen Produktion liegenden Bedürfnisse einen Theil seiner Erzeugnisse gegen die Erzeugnisse anderer Produktionen austauschen muss, und dass auf diese Weise nothwendig ein Theil der Feldfrüchte und der aus diesen im thierischen Körper entstehenden Umwandlungsprodukte in die Städte wandern muss, allwo sie zur Ernährung der nicht ackerbautreibenden Bevölkerung dienen. Wenn wir uns nun auf den vom Anfang unserer Betrachtungen an inne gehaltenen Standpunkt stellten und untersuchten, welche Fruchtbarkeitsänderungen durch diese menschlichen Eingriffe und Anordnungen auf den vom Landwirthe bebauten Feldern, gegenüber dem Zustand, in dem sie ohne Berührung von Menschenhand verblieben sein würden, eintreten mussten, so konnte mit Bestimmtheit ausgesagt werden, dass die reine Stallmistdüngung, da dieselbe nur einem Theil der den Feldern entnommenen Produkte entspricht, für *sehr grosse* Zeiträume als alleinige Betriebsmethode nicht völlig genügen kann, wenn auch der (namentlich die Aschenbestandtheile betreffende) Ausfall lange Perioden hindurch durch den natürlichen Bodenreichthum, durch Aufschliessung von bis dahin unverfügbaren Stoffen durch Verwitterung etc. gedeckt werden kann, und in der Praxis häufig thatsächlich nicht fühlbar wird.

Die statische Seite dieses ganzen Gegenstandes und insbesondere die Frage nach der wirthschaftlichen Rentabilität des zeitlichen Ersatzes wird später von ganz anderen

Gesichtspunkten aus, eine zusammenhängende Behandlung finden*). Hier benutzen wir die schon bisher mit Vortheil angestellte Betrachtung als Fingerzeig, weiteren Düngemitteln, die ihrer Herkunft nach den Namen von „natürlichen" verdienen. auf die Spur zu kommen. Sowie uns die Erkenntniss von der Unvollständigkeit des Ersatzes durch die reine Stallmistdüngung zu der Bedeutung der menschlichen Auswurfstoffe als Düngemittel geführt hat, so können wir nun, wenn wir dem verfolgten Gedankengang noch einmal mit grösserer Strenge nachgehen, auf eben dieselbe Weise zu der Erkenntniss der Düngebefähigung anderer Substanzen gelangen.

Wir haben offenbar, um dieses strengere Verfahren einzuhalten, Nichts zu thun, als uns die Frage vorzulegen, in wie weit gelangen die Reste der ausgeführten landwirthschaftlichen Stoffe in die Abtrittsgruben oder die stellvertretenden Behälter? — Die Antwort hierauf ist so einfach wie die Frage selbst. Im Allgemeinen und mit völliger Regelmässigkeit gelangen nur die menschlichen Auswurfstoffe in die Latrinenbehälter (ausser allerlei Spühlwasser, das keine Veränderung am absoluten Gehalt der dort gesammelten Stoffe bewirken kann); diese Auswurfstoffe können nur**) die Reste der wirklich zur Ernährung dienenden ausgeführten landwirthschaftlichen Produkte enthalten. Da aber nicht alle ausgeführten landwirthaftlichen Produkte gegessen werden, so kann auch der Abtrittdünger kein volles Supplement sein zum Stalldünger. Auch beide zusammen können nicht, wenn alle übrigen Quellen der Zufuhr für ein Landgut versiegt gedacht werden, hinsichtlich der *dauernden Erhaltung* der Fruchtbarkeit der Felder vollkommen Das leisten, was die untergepflügte Ernte zu leisten im Stande ist, oder was auf dem von Menschenhand unberührten Boden stattfinden würde.

Es sind auch mit Leichtigkeit diejenigen Stoffe zu verzeichnen, durch welche jenes noch immer nicht ganz verschwindende Deficit bewirkt wird; es sind Dies die der Technik anheimfallenden landwirthschaftlichen Produkte, der grösste Theil der sogenannten Handelsgewächse, auch ein Theil des Strohs, ferner die Abfälle der als menschliche Nahrungmittel ausgeführten landwirthschaftlichen Produkte, Haut und Knochen des Schlachtviehs u. s. f.

Das Resultat unseres aufmerksameren Hinblicks ist also, dass die menschlichen Excremente auch bei vollständiger Gewinnung derselben für die Landwirthschaft unmöglich ein volles Aequivalent geben können für den beim reinen Stallmistbetrieb entstehenden Ausfall — obgleich sie in sich bei Weitem den grössten Theil derjenigen Vegetationsbedingungen bergen, die bei jenem Betriebe den Feldern verloren gehen — denn nicht alle ausgeführten landwirthschaftlichen Produkte werden von den Menschen verzehrt und können in deren Excremente übergehen. Wir werden nun naturgemäss die natürliche Laufbahn jener andern Produkte zu verfolgen haben.

Betrachten wir einmal das Schicksal der sogenannten Handelsgewächse, z. B. der Gespinnstpflanzen oder des Tabaks, die selbstredend Düngebestandtheile in sich enthalten. Das Ende der Laufbahn dieser Düngebestandtheile ist in den meisten Fällen gar nicht genau zu verfolgen. Häufig gerathen sie, vermischt mit einer Unmasse

*) Vergl. die neununddreissigste Vorlesung.

**) Von der im Grossen und Ganzen nicht erheblichen Menge Nahrung, welche nicht der Landwirthschaft, sondern der Fischerei und dergleichen entstammt, sehen wir hier ab.

anderer Stoffe, in den Strassenkehricht, der freilich auch unter Umständen mit dem Kloakendünger vereinigt auf das Feld zurückkehrt, oder sie werden in irgend einer andern Weise verzettelt, ohne dass sich in jedem einzelnen Falle angeben liesse, wohin sie eigentlich gerathen sind.

Anders ist es jedoch mit andern landwirthschaftlichen Produkten, namentlich mit gewissen thierischen Produkten und den Abfällen von diesen, mit Knochen, Horn, Haaren, Haut, Wolle etc. Diese Stoffe, obwohl sie auch vielfach anderer Verwendung unterliegen, kehren zu einem grossen Theil, häufig nachdem sie jene erste Verwendung bereits gefunden haben, auf das Feld zurück.

In erster Linie gilt Dies für die Knochen, die in neuerer Zeit ganz regelmässig mehr oder weniger verarbeitet, als Düngestoffe Verwendung finden. Aber auch die andern Stoffe, die ihrer Entstehungsweise nach ebenso wie die Knochen mit dem Namen „natürliche Dünger" belegt zu werden verdienen, kehren gelegentlich in der Form von Hornspähnen, altem Leder, Abfälle bei der Leimfabrikation, Wollstaub u. s. w. auf die Felder zurück.

Aehnliches gilt auch für manche Abfälle, die entstehen bei der Verarbeitung einiger pflanzlicher Produkte wie z. B. Malzkeime, Oelkuchen, die man jedoch in neuerer Zeit mit grösserem Erfolg durch den thierischen Organismus passiren lässt, und sie dann erst als Düngestoffe verwendet.

Wir werden, da wir hier keine erschöpfende praktische Düngerlehre zu geben beabsichtigen, nur auf die Stellung einiger wenigen dieser Stoffe unter den Düngemitteln eingehen.

Vorzüglich die Verwendung der *Knochen* als Düngemittel soll eine etwas ausführlichere Behandlung erfahren, da es eine grosse Anzahl von Düngerpräparaten gibt, die ihren Ursprung von den Knochen herleiten.

Wenn wir zunächst die Zusammensetzung der gereinigten Knochen in's Auge fassen, so ergibt sich sofort, dass nicht alle Pflanzennährstoffe gleichmässig in denselben enthalten sind, dass hauptsächlich von solchen nur Phosphorsäure, Kalk und Stickstoff, letzterer in Form einer den Proteïnstoffen nahestehenden Substanz (leimgebendes Gewebe) dieselben zusammensetzen. In der That ist es lediglich der Phosphor- und Stickstoffgehalt, der den Knochenpräparaten einen so hohen Düngewerth verleiht.

Folgendes ist die Zusammensetzung der Knochen im reinen Zustande.

Wasserfreie Knochen von verschiedenen Säugethieren (nach Heintz) *).

Kohlensaurer Kalk	6,3— 7,1 %
Phosphorsaure Magnesia	1,2— 2,1
Phosphorsaurer Kalk	58,3—62,7
Fluorkalcium	1,8— 2,2
Organische Substanz	26,5—30,6

Nach andern Analysen sind noch Kali, Natron, Chlor, Schwefelsäure in sehr geringen Mengen in denselben enthalten, welche Bestandtheile aber wohl dem Blute zugeschrieben werden müssen, von dem es schwer ist, die Knochen völlig zu befreien. Die organische Substanz der Knochen besteht, wie gesagt, wesentlich aus

*) Journ. f. pr. Chemie 1849. p. 24.

einer stickstoffhaltigen Verbindung, dem sogenannten leimgebenden Gewebe, das beim Kochen in Wasser in Leim übergeht. Dem entsprechend enthalten die trockenen gereinigten Knochen 4—5 % Stickstoff.

Die Zusammensetzung der Knochen, wie sie in den Handel kommen, ist jedoch häufig stark abweichend von der eben angegebenen. Diese sind meistens verunreinigt durch Sand; — Blut und Knochenmark ist aus denselben nicht entfernt, sie sind ausserdem wasserhaltig. Diejenigen Knochen, die vorher gekocht worden sind, haben ausserdem einen Theil ihres Leims und somit ihres Stickstoffs verloren, häufig ist auch diese Substanz durch Fäulniss theilweise unter Austritt von Stickstoff zerstört.

So wurden von Völcker mehrere Knochensorten des Handels, die vorher gekocht waren, untersucht und in denselben gefunden:

Wasser	7,7— 8,1 %
Organische Substanz	25,3—25,4
Phosphorsaure alkal. Erden	43,7—60,5
Kohlensaurer Kalk	3,2 und mehr
Alkalisalze	0,4 und mehr
Sand	2,3—13,5
Stickstoff	1,8— 2,8

Die sehr erklärliche Verminderung des Stickstoffs ist deutlich ersichtlich.

Die Knochen werden zum Düngen einmal geradezu als solche verwendet und nur mechanisch zerkleinert, *gestampft*. Man überlässt es in diesem Falle den Einflüssen, denen die Knochensplitter im Boden unterworfen sind, Stickstoff und Phosphorsäure in eine verfügbare Form überzuführen. Die faulende stickstoffhaltige Materie der Knochen selbst trägt unter diesen Umständen augenscheinlich dazu bei, die Phosphorsäure wenigstens vorübergehend löslich zu machen und für deren Verbreitung im Boden zu sorgen. Die so gepulverten und ohne Weiteres als Düngemittel verwendeten Knochen, welche unter dem Namen „rohes Knochenmehl“ in den Handel gelangen, enthalten nach den Erfahrungen bei den Düngerkontrolen 21—24 % Phosphorsäure und 3—4 % Stickstoff.

Trotzdem dass wir es also in diesem Knochenmehl mit einem Düngemittel zu thun haben, welches nach seinem Ursprung durchaus als ein natürliches erscheint, so ist doch dessen Zusammensetzung und seine Düngebefähigung eine einseitige, da wir es in ihm mit einem Bestandtheil des thierischen Körpers zu thun haben, in welchem sich nur einige wenige Stoffgruppen zusammengefunden haben, von dem andere ganz ausgeschlossen geblieben sind. Die Wirksamkeit muss Dem entsprechend keine ganz allgemeine, sondern eine sich mehr in gewissen Fällen geltend machende sein, nemlich in den Fällen, wo es im Boden zu einer gewissen Kultur an Stickstoff und Phosphorsäure fehlt. Allein da gerade diese beiden Bestandtheile diejenigen sind, an denen gemeiniglich am ersten im Boden Mangel entsteht, so ist doch die Wirksamkeit eine regelmässigere und allgemeinere, als man auf den ersten Blick glauben sollte. — Die raschere oder langsamere Wirksamkeit des rohen Knochenmehls hängt wesentlich von seiner grösseren oder geringeren Feinheit ab.

Eine weit höhere Bedeutung für die praktische Landwirthschaft als das rohe, chemisch noch unveränderte Knochenmehl haben einige Produkte, welche aus den

Knochen dargestellt werden und die schlechtweg als künstliche Düngemittel bezeichnet werden können. Eines dieser Produkte ist, abgesehen von seiner weitgehenden praktischen Bedeutung schon desshalb von Interesse, weil seine Darstellung eines der wenigen Beispiele eines grossen praktischen Erfolgs der wissenschaftlichen Erkenntniss vom Wesen der Pflanzenernährung ist, während fast alle anderen sehr wirksamen sogenannten künstlichen Dünger in ihrer Wirksamkeit auf dem roh empirischen Wege erkannt worden sind.

Die hervorragendsten dieser Fabrikate sind, *das gedämpfte Knochenmehl* und *das Knochenmehlsuperphosphat*. Ersteres wird dargestellt, indem man die Knochen in verschlossenen eisernen Behältern einem Dampfdruck aussetzt und sie mit dem Dampfe längere Zeit in Berührung lässt. Die Knochen werden durch diese Behandlung so mürbe, jedenfalls in Folge einer unter diesen Umständen eintretenden Veränderung des leimgebenden Gewebes, dass ihre Zerkleinerung alsdann viel leichter von Statten geht, als die der unveränderten Knochensubstanz. In der That ist das Knochenmehl, das nun durch nachträgliche Zertrümmerung der so behandelten Knochen entsteht, unter allen Umständen viel feinerer Natur, als das rohe Knochenmehl. Die weit intensivere Wirksamkeit des so bereiteten gedämpften Knochenmehls lässt sich daher einerseits auf diese feinere Vertheilung zurückführen; andererseits allerdings muss auch der durch den Prozess des Dämpfens veränderten organischen Substanz an sich eine höhere Zersetzungsfähigkeit zugeschrieben werden, der Stickstoff derselben wird auf diese Weise für die Pflanze schneller verfügbar,*) und in Folge dieser beiden Veränderungen wird auch die Phosphorsäure des Knochenmehls zugänglicher.

Dagegen ist der absolute Stickstoffgehalt des gedämpften Knochenmehls durchweg geringerer ($2\frac{1}{4}$—3%) als der des rohen, und wenn das erstere, auch hinsichtlich des Stickstoffs, als ein weit rascher wirkendes Düngemittel als jenes auftritt, so ist eben diese Thatsache recht dazu geeignet, die zugängliche Form des ersteren zu demonstriren. Der Phosphorsäuregehalt beider ist annähernd derselbe.

Das gedämpfte Knochenmehl hat sich in der Praxis als ein sehr brauchbares Düngemittel ganz ausserordentlich bewährt und fast an allen Orten das rohe Knochenmehl in den Hintergrund gedrängt. Dasselbe wird zu allen möglichen Kulturen, vorzüglich aber zu Getreide verwendet, welches nach einer Knochenmehldüngung in einem etwas ausgebauten Boden eine reichlichere Körnerernte zu geben pflegt, wie Dies ja bei dem Phosphorreichthum der Körner sehr begreiflich erscheint.

Das *Knochenmehlsuperphosphat* wird dargestellt durch Einwirkung einer starken Mineralsäure (Salzsäure oder Schwefelsäure) auf Knochenmehl in den Verhältnissen, dass der in den Knochen vorhandene dreibasisch phosphorsaure Kalk möglichst vollständig in den leicht löslichen einbasischen phosphorsauren Kalk oder auch in freie Phosphorsäure übergeführt wird, während andererseits Gyps resp. Chlorkal-

*) Eine weitere vortheilhafte Veränderung des gedämpften Knochenmehls, welche sich indessen auch für das rohe erreichen lässt, ist die Entfernung des Fetts, das durch seine Anwesenheit in den Knochen deren Zersetzung ausserordentlich verlangsamt, wahrscheinlich weil so Gelegenheit gegeben ist zu Bildung von Kalkseifen, welche die übrigen Theile einhüllen. Aus den zerstampften Knochen lässt sich das Fett durch Kochen mit (angesäuertem) Wasser entfernen.

cium entsteht. In neuerer Zeit ist die Verwendung der Salzsäure zu diesem Zwecke fast ganz und gar aufgegeben worden, trotz der weit grösseren Wohlfeilheit dieses chemischen Produktes*), weil man zu deutlich die Nachtheile würdigen gelernt hat, die das Chlorkalcium im Boden zur Folge hat. Ich erinnere in Betreff dieses Punktes an unsere Darstellung in der fünfzehnten Vorlesung**). — Das Superphosphat, was heute in den Handel gelangt, ist fast durchweg mit Schwefelsäure dargestellt und zwar, wo sich Schwefelsäurefabriken in der Nähe befinden, meistens mit der sogenannten *Kammersäure*, die nur etwas verdünnter wie die sogenannte englische Schwefsäure, aber (wegen der ersparten Condensationskosten) sehr viel wohlfeiler als dieselbe ist.

Das Aufschliessen des Knochenmehls mit Säure bezweckt, die Phosphorsäure der Pflanzenwurzel leichter zugänglich zu machen, und diese Absicht wird, wie die praktischen Düngungsresultate mit dem Superphosphat lehren, auch völlig erreicht. Es muss freilich hinzugesetzt werden, dass zur Zeit***), wo der Vorschlag zu dieser Behandlung des Knochenmehls gemacht wurde, man noch eine sehr unvollständige Vorstellung von dem Verhalten der Düngestoffe im Boden hatte, dass man damals vielmehr von dem Grundsatze ausging, Alles für die Pflanzen Verfügbare müsse in fertigen Bodenlösungen vorhanden sein, mit andern Worten keine Ahnung von den Absorptionsvorgängen besass. Heute wissen wir, dass fast die ganze durch das Aufschliessen in Lösung übergeführte Phosphorsäure, mit einer Ackererde von normaler Zusammensetzung in Berührung gebracht, wieder nach kurzer Zeit in den unlöslichen Zustand zurückgeführt wird, und es könnte auf den ersten Blick erscheinen, als ob die ganze Operation der Löslichmachung nutzlos gewesen sei. Allein schon der Hinblick auf die praktischen Erfolge dieser Methode, die durch zahllose Düngungsversuche nicht blos mit den verschieden behandelten Knochenmehlen, sondern noch vielmehr durch solche mit einer Reihe von anderen phosphorreichen Materialien ausser allen Zweifel gestellt sind, und ebenso durch die hervorragende Rolle der Superphosphate auf dem Düngermarkt belegt werden, lehrt uns, dass Dem unmöglich so sein kann, und eine etwas aufmerksamere Ueberlegung zeigt, dass die ungelöste Phosphorsäure im Boden sich allen lösenden Agentien und so auch den Wurzeln gegenüber sehr verschieden verhalten muss, je nach ihrer Vertheilung daselbst. Eine andere Vertheilung findet augenscheinlich statt, wenn die ungelöste Phosphorsäure in groben Knochenstückchen — eine andere, wenn sie aus einer Lösung niedergeschlagen äusserst gleichmässig, wie es eben nur auf chemischem Wege zu erreichen ist, in allen den Substanzen vorhanden ist, welche bei ihrer Fällung mitgewirkt haben. Auf diese

*) Die Salzsäure ist ein oft kaum zu verwerthendes Nebenprodukt der Sodafabrikation.

**) Vergl. p. 251. So ist z. B. in den Eichhorn'schen Versuchen auch die nachtheilige Wirkung von mit Salzsäure aufgeschlossenen Knochenmehlen auf Zucker- und Stärkegehalt von Rüben und Kartoffeln deutlich hervorgetreten. Vergl. Pr. Annal. der Landw. 1866. p. 270 u. Jahresber. f. Agrik.-chemie. 1866. p. 276.

***) Der Vorschlag der Verwendung gelöster phosphorsaurer Salze (Abfallprodukte der Knochenleimfabriken) zur Düngung ist zuerst von Liebig in den ersten Auflagen seiner „Organischen Chemie u. s. w." (p. 243) gemacht worden. — Die älteste Angabe zur Darstellung eigentlicher Superphosphate scheint die von Gill (Polytechn. Journal B. 111 p. 309 im Jahre 1848 zu sein.

Weise haben wir uns also die günstige Wirkung der aufgeschlossenen Phosphorsäure zu denken, und dieselbe Vorstellung kann auch für das analoge Verhalten bei andern Pflanzennahrungsstoffen dienen.

Das *Knochenmehlsuperphosphat,* dessen Phosphorsäure in einem für das Pflanzenwachsthum weit zugänglicheren Zustand vorhanden ist, als die des rohen und sogar als die des gedämpften Knochenmehls, wenn auch die absolute Menge an diesem düngenden Bestandtheile in ihm eine geringe ist, hat dagegen seine Bedeutung als Stickstoffdünger fast ganz und gar eingebüsst. Die grosse absolute Stickstoffarmuth aller in den Handel gelangenden sogenannten Knochenmehlsuperphosphate, die weit grösser ist, als der Verdünnung durch den Säurezusatz entsprechen würde, lässt sich nur so erklären, dass auch zu den unter diesem Namen passirenden Producten in der Fabrikation viele andere phosphorsäurereiche und stickstoffarme Materialien, welche wir bald zum Theil kennen lernen werden, mit benützt werden, wie denn namentlich seit der Zeit, wo solche Materialien in grossen Mengen und zu billigen Preisen zur Verfügung stehen. und da ausserdem die Werthbestimmung der Superphosphate allein nach der in Wasser löslichen Phosphorsäure geschieht, die Verarbeitung des eigentlichen Knochenmehls zu Superphosphaten als für die Düngerfabrikanten unrentabel ganz in den Hintergrund getreten ist.

Diese Verhältnisse und die vortrefflichen Resultate, welche man bei vergleichungsweisen Düngungsversuchen mit gedämpftem Knochenmehl und Superphosphat zu Gunsten des ersteren (auch in Berücksichtigung der Preisverhältnisse) erhalten hat, lassen heute im Allgemeinen die Verarbeitung der Knochen zu gedämpftem Knochenmehl am Rationellsten erscheinen, da fast alle übrigen Verarbeitungsmethoden dieses Düngermaterials aus einem oder dem andern Grunde sich keinen Eingang zu schaffen vermocht haben.

Als solche sind hier nur zu erwähnen *das Fermentiren der Knochen mit Jauche* *), das sehr empfohlen worden und der Verwendung des rohen Knochenmehls jedenfalls vorzuziehen ist, *das Aufschliessen der Knochen durch Alkalilauge,* das höchstens eine ganz lokale Bedeutung hat für Gegenden, wo Holzasche zu billigen Preisen zu haben ist **). Dass Knochen eigens zu dem Zwecke, um als Düngemittel zu dienen, eingeäschert werden, wird wohl, seit man jene vortrefflichen Methoden der Verarbeitung kennt, nicht mehr in erwähnenswerthem Massstab vorkommen, wo aber die *Knochenasche* als Abfall irgend einer technischen Operation in den Düngerhandel gelangt, da ist von ihrem Düngewerth einfach zu sagen, dass sie ein sehr einseitiges Düngemittel ist, von kostbareren Pflanzennahrungsmitteln eben nur Phosphorsäure enthält, da der Stickstoff, welcher in der organischen Substanz vorhanden war, mit dieser beim Einäscherungsprocesse verloren gegangen ist. Ganz Dasselbe lässt sich auch von der *Knochenkohle* sagen, welche auch als Abfall von anderen Fabrikationen ***) und zwar in sehr viel erheblicherem Massstabe als die Knochenasche

*) Bei diesem Verfahren treten jedoch, wenn nicht besondere Vorsichtsmassregeln (vergl. Ulbricht: Jahresber. f. Agrik.-chemie 1864. p. 224) angewendet werden, erhebliche Verluste an Stickstoff ein.

**) Ueber Kompostiren des Knochenmehls vergl. Pr. Ann. d. Landw. 1870. Nr. 33.

***) Aus den Zuckerraffinerien, wo sie als Reinigungsmittel dient.

in den Düngerhandel gelangt. Für diese Stoffe, welche keinen Stickstoff mehr enthalten, ist nun, wie für die grosse Reihe ähnlich zusammengesetzter Düngermaterialien das Aufschliessen durch Schwefelsäure am Platze und geschieht auch in durchgängiger Allgemeinheit. Die Superphosphate aus Knochenkohle bilden einen erheblichen Bruchtheil der Superphosphate überhaupt.

Die Knochenpräparate haben zwar eine sehr ausgedehnte Anwendung als Düngemittel. allein da ihnen einerseits die Befähigung zur physikalischen Verbesserung des Bodens, deren die meisten unserer Kulturböden bedürftig sind, abgeht, da sie andererseits eine sehr einseitige Zusammensetzung besitzen und nicht einmal als intensive Stickstoffdünger zu betrachten sind, so spielen sie doch eben nur die Rolle von Hülfsdüngemitteln. Die Superphosphate werden vom Praktiker hauptsächlich für Getreide, Raps aber auch für sehr viele andere Pflanzen empfohlen, doch eben vorzüglich für solche, die einen grossen Phosphorsäurereichthum im Boden voraussetzen und Dasselbe gilt auch für die anders zubereiteten Präparate, obschon diese weniger einseitig wirken.

Die verschiedenen Knochenpräparate sind jedenfalls das wichtigste Glied derjenigen Düngestoffe, welche ihrem Ursprung nach zu den natürlichen Düngern gerechnet werden müssen und doch dem Stallmist und den menschlichen Auswurfstoffen entgangen sind, so dass sie vom statischen Standpunkte aus ein Supplement zu diesen Ersatzmitteln der Bodenfruchtbarkeit bilden. Alle übrigen thierischen und pflanzlichen Abfälle, die wie Malzkeime, Treber, Wollabfälle u. s. w. gelegentlich eine ähnliche Rolle als Düngemittel spielen, übergehen wir wegen ihrer untergeordneten Bedeutung hier mit Stillschweigen und begnügen uns zu bemerken, dass man in jedem einzelnen Falle aus den Angaben über ihre Zusammensetzung sich ein hinlängliches Bild von ihrer Wirksamkeit wird machen können.

Wir gehen in unsern Betrachtungen vielmehr jetzt über zu den sogenannten künstlichen Düngern.

Sowie man unter *natürlichen Düngern alle diejenigen zur Bodenverbesserung geeigneten Stoffe* versteht, *die ihrer Entstehungsweise nach eine ähnliche Zusammensetzung haben* und vorzugsweise ähnliche Zersetzungsprodukte nach ihrer Einverleibung in die Ackererde liefern müssen, *wie die Stoffe, die wir durch unsere Ernten dem Boden entziehen*, so versteht man unter *künstlichen Düngern solche zur Bodenverbesserung geeignete Stoffe, bei denen Dieses nicht der Fall ist.* — Daraus folgt, dass nicht blos künstlich fabricirte Materialien als künstliche Dünger bezeichnet werden, wie auch umgekehrt nicht alle natürlichen Dünger rein natürlichen Ursprungs zu sein brauchen.

Es ist nach der eben ausgesprochenen Definition durchaus selbstverständlich. dass diesen künstlichen Düngern keine so allgemeine Wirkung in Bezug auf die Erzielung eines Mehrertrags zukommen kann, wie wir sie als charakteristisch für die natürlichen Dünger haben erkennen müssen. Diese letzteren werden vermöge ihrer Zusammensetzung nur auf sehr reichen Ländereien keine Mehrerträge geben können, auf Ländereien, wo eben schon das Mögliche in Pflanzenproduktion geleistet wird. wo nicht mehr die Nährstoffe der Pflanzen im Minimum vorhanden sind, sondern wo jene ewig feststehenden durch Menschenhand nicht abänderbaren Bedingungen des Pflanzenwachsthums wie das Sonnenlicht in Folge ihres beschränkten Vorhandenseins der Produktion eine unverrückbare Grenze setzen.

Ganz anders muss es mit der Wirksamkeit der künstlichen Dünger bestellt sein. Diese sind der Natur ihrer Entstehungsweise nach an sich oder bei ihrer Zersetzung noch nicht befähigt, einer Pflanze alle die zu deren Aufbau nothwendigen Stoffe (soweit sie dieselben aus dem Boden bezieht) ziemlich gleichmässig zur Verfügung zu stellen, sondern diese enthalten eben nur gewisse Nährstoffe in sich (welche letzteren sie dadurch zu Düngestoffen stempeln) oder sie vermögen solche bei ihrer Verwesung in der Ackererde zu erzeugen, oder wirken endlich indirekt, so dass sie andere Nährstoffe, die schon im Boden vorhanden waren, zur Aufnahme geeigneter machen. Die Folge davon muss sein, dass diese künstlichen Dünger auf manchen Aeckern ganz ausserordentlich grosse Wirkungen hervorzubringen vermögen, auf andern dagegen — und ohne dass diese durchweg in einem reicheren Düngungsstande sich zu befinden brauchen — nicht den geringsten Mehrertrag zu erzeugen im Stande sind.

Diese Wirkungsweise ist nun durchaus selbstverständlich für einen Jeden, der die Anfangsgründe der Pflanzenernährung inne hat und beachtet, dass der Ueberschuss eines Pflanzennährstoffs wie überhaupt jeder Vegetationsbedingung über das Verhältniss hinaus, wie sie alle zur Produktion zusammenwirken, unmöglich in Wirksamkeit treten kann, — einfach desshalb, weil eben eine jede dieser Bedingungen gleich nothwendig zur Gesammtleistung und unvertretbar durch andere Bedingungen ist. Wenn wir jedoch zusehen, welchen Einfluss ein solches Verhalten gewisser Düngstoffe auf deren praktische Anwendbarkeit so lange haben musste, als man noch mit der Theorie der Pflanzenernährung nicht vertraut war, die complexe Düngermasse noch nicht in einzelne wirksame Faktoren begrifflich zu trennen verstand und darauf angewiesen war, die Brauchbarkeit eines Düngestoffes lediglich nach vereinzelten Beobachtungen auf dem Felde zu beurtheilen, so kommen wir sehr leicht zu der Einsicht, dass die so festgestellten Wirkungswerthe solcher Düngemittel nach den einzelnen Beobachtungen ausserordentlich von einander abweichen mussten (je nach der Beschaffenheit der Felder), dass man unter Umständen weit mehr ungünstige Resultate erhielt, als günstige, ohne im Stande zu sein, sich Rechenschaft von einem so ungleichartigen Verhalten zu geben, und dass auf diese Weise solche Düngestoffe im Allgemeinen bei dem rohen Empiriker in Misscredit kommen mussten. Für diese Düngemittel war also eine Theorie der Pflanzenernährung nothwendig, die ihre Anwendung regelte oder den praktischen Düngungsversuch wenigstens in die richtigen Bahnen wies.

Aber noch mehr. Die Theorie war ausserdem dazu nothwendig, um Stoffe, die möglicher Weise sich als Dünger brauchbar erweisen konnten, aufzusuchen. Offenbar wäre es für den praktischen Landwirth, auch in dem Fall, dass er durch den Düngungsversuch allein zu einem Urtheil gelangen könnte über die Anwendbarkeit irgend eines Stoffes als Dünger, ein ganz hoffnungsloses Unternehmen, alle möglichen Stoffe der Erdoberfläche auf ihre Düngefähigkeit wiederholt durchzuprüfen, und es ist im hohen Grade vortheilhaft für die Landwirthschaft, dass man auch andere Mittel besitzt, die Fähigkeit eines Stoffes als Dünger zu dienen, festzustellen.

Ein solches Mittel ist nun aber die chemische Analyse, die ihrerseits nur wieder zu diesem Zwecke angewendet werden kann, weil wir eine Theorie der Pflanzenernährung besitzen, weil wir wissen, welche einzelnen chemisch definirbaren Stoffe nothwendig sind, um einen Boden zu einem baufähigen zu machen.

Aus diesen Betrachtungen erhellt, wie die Erkenntniss der Anwendbarkeit gewisser Stoffe als Düngemittel durchaus eine ausgebildete Theorie der Pflanzenernährung voraussetzt, wie eine Anzahl von unter gewissen Umständen vorzüglichen Düngemitteln der praktischen Landwirthschaft ganz unbekannt bleiben musste, bis die Chemie in den Dienst der Landwirthschaft trat, dass ferner diejenigen Düngestoffe, zu deren Auffindung die Theorie (die Kunst) nothwendig war und die desshalb *künstliche* Düngestoffe genannt worden sind, sich von den natürlichen eben dadurch unterscheiden werden, dass ihre Düngefähigkeit nicht so auf der platten Hand lag, dass ein vereinzelter praktischer Versuch oder gar die zufällige Beobachtung genügte, derselben ein für allemal Anerkennung zu verschaffen.

Das eben Gesagte gilt nun natürlich in noch viel höherem Grade von denjenigen Düngemitteln, die sich nicht in direkt anwendbarer Form vorfinden, zu deren Darstellung aus natürlichen Produkten eine Reihe von mehr oder minder complicirten Manipulationen erforderlich sind, die wiederum eine Theorie der Pflanzenernährung voraussetzen, *da hier vollends durch das Probiren in den Tag hinein voraussichtlich gar Nichts erreicht werden könnte.* Solche fabrikmässig dargestellten Düngemittel werden also in erster Linie zu den künstlichen gezählt werden müssen.*)

Uebrigens muss noch besonders darauf hingedeutet werden, dass eine Grenze zwischen natürlichen und künstlichen Düngern nicht ganz scharf zu ziehen ist. Manche Düngestoffe, die z. B. wie der Peruguano der Natur ihrer Entstehung nach die verschiedenen Pflanzennahrungsmittel leidlich gleichmässig in sich enthalten oder aus sich zu entwickeln vermögen und daher nach unserer Betrachtungsweise sich einen Platz unter den natürlichen Düngern zu erwerben berechtigt sind, in der That auch in der Nähe ihres Vorkommens von der rein praktischen Erfahrung als wirksam erkannt und angewandt worden sind und dort ohne Zweifel unter die natürlichen Dünger gerechnet werden oder gerechnet werden müssten, ist man dennoch geneigt, unter die künstlichen Dünger zu stellen, weil bei uns die Theorie dazu erforderlich war, um auf diese Stoffe aufmerksam zu machen, oder weil man wenigstens Dieses anzunehmen geneigt ist.

Dann giebt es eine Reihe von Düngestoffen, die ihrer ursprünglichen Entstehungsweise nach uns als völlig natürliche Düngungsmittel erscheinen müssen, die aber in langen Zeiten eine grosse Reihe von Processen durchgemacht haben, wodurch ihre Zusammensetzung dermassen alterirt wurde und sie als Düngemittel einseitig geworden sind, so dass die Ausbildung einer Düngungstheorie dazu nothwendig war, um deren relativen Düngewerth zu erkennen. Während z. B. der Peruguano in Folge seines Lagerns in regenlosen Zonen seine ursprüngliche Zusammensetzung nahezu bewahrt hat, sind Stoffe von ursprünglich analoger Entstehung und Zusammensetzung, wie z. B. der Baker- und Sombrero-Guano zu sehr einseitigen Düngemitteln geworden, und Dasselbe gilt in noch viel höherem Grade von den Koprolithen, zu deren Anwendbarkeit noch dazu umständliche chemische Manipulationen nothwendig sind. Eine Einreihung dieser letzteren Stoffe unter die natürlichen Dünger wäre daher geradezu widersinnig.

---

*) In diesem Sinne gehören die Knochenmehlpräparate zu den künstlichen Düngern, wohin sie denn in der That gewöhnlich gerechnet werden.

Endlich sind eine Reihe von Düngestoffen, die ihrer Zusammensetzung nach entfernt nicht im Stande sind, die Pflanzen vollkommen mit allen Nährstoffen zu versorgen, schon in Perioden angewandt worden, wo an eine haltbare Theorie der Pflanzenernährung nicht zu denken war. Es sind Dies Stoffe, wie Gyps und Mergel, deren Wirkung eine vorzugsweise indirekte, aber eine sehr allgemeine für sehr verschiedenartige und verschieden fruchtbare Böden zutreffende war. Man könnte wegen dieser frühen und allgemeinen Anwendung geneigt sein, solche Dünger als natürliche zu bezeichnen, während sie nach unserer Auseinandersetzung diesen Namen nicht verdienen.

Eine ganz strenge Grenze kann also nicht gezogen werden, und es hat auch keinen Werth, weder einen theoretischen noch praktischen, diese Grenze streng zu ziehen. Es handelt sich nur darum, diese Eintheilung der Düngestoffe, der ein gewisser praktischer Nutzen nicht abgesprochen werden kann, verstehen zu lernen.

Mehrfach hat man auch versucht, die Dünger in absolute und relative *) einzutheilen, — eine Unterscheidung, durch die jene Grenze etwas schärfer gezogen werden sollte, aber die im Grunde hierin auch nicht mehr leistet. Absolute Dünger sollen dann diejenigen sein, die unter allen Umständen wirken, relative, für die Dies nicht der Fall ist. Ausserdem werden dann recht zweckmässig noch indirecte Düngemittel. unterschieden. Man sieht, dass beide Eintheilungen sich nahezu decken.

Eine weitere Eintheilung der künstlichen Düngemittel ergibt sich dann sehr einfach gerade wegen der Verschiedenheit ihrer Entstehung und Zusammensetzung *nach den einzelnen Bestandtheilen, die sie vorwiegend enthalten* und die sie zu ihrer relativen Wirksamkeit befähigen. Es werden aber nicht alle einzelnen Pflanzennahrungsstoffe als Eintheilungsprincip benutzt werden können, sondern nur die, welche durch die Kultur eine so erhebliche Verminderung erleiden und so sparsam in der Ackererde vorhanden sind, dass durch ihre einseitige Zufuhr sehr häufig eine Mehrproduktion erreicht werden kann. Diese Stoffe sind vorzugsweise Stickstoff, Phosphorsäure und Kali, dieselben, auf die wir bisher schon in erster Linie Rücksicht genommen haben, nur in seltenen Fällen Schwefelsäure, Kalk oder Magnesia, so dass man in der Regel zwischen *Stickstoff-*, *Phosphor-* und *Kali-reichen Spezialdüngern* unterscheidet.

In zweiter Linie liessen sich dann hier anreihen die indirect wirkenden Düngemittel und dann solche, deren Wirksamkeit hauptsächlich in der Verbesserung mancher physikalischen Eigenschaften des Bodens gesucht werden muss. Diese letzteren spielen jedoch unter den künstlichen Düngemitteln eine sehr zurücktretende Rolle.

Die künstlichen Düngemittel sind entweder ihrem Ursprung nach völlig unorganischer Natur, d. h. sie finden sich an irgend einem Ort der Erde durch irgend einen Process früherer geologischer Epochen angehäuft, oder sie sind nachweisbar thierische und pflanzliche Produkte, oder Reste solcher Produkte, nur eben keine Produkte, die durch landwirthschaftliche Thätigkeit entstehen, sondern die durch natürlich verlaufende Processe ohne Zuthun des Menschen ins Dasein gerufen werden. Im letzteren Falle nähern sie sich der Entstehungsweise der natürlichen Dünger und

*) Vergl. Heiden: Düngerlehre II. p. 5.

haben daher, wenn sie noch durch sekundäre Processe keine tiefgreifenden Veränderungen erlitten haben, auch eine häufig mit solchen coïncidirende Zusammensetzung, so dass wie wir oben hervorgehoben haben, eine Art von Uebergang besteht von den eigentlichen vorzüglich so genannten natürlichen Düngern zu Düngesorten, die man ziemlich allgemein zu den künstlichen zählt, wie wir Dies z. B. für die Zusammensetzung des Mistes unseres zahmen Geflügels und der dem Peruguano nahestehenden Guanosorten kennen lernen werden. Aber auch zwischen jenen beiden scheinbar so wohlgeschiedenen Gruppen lässt sich keine strenge Grenze ziehen, wenn auch die Kalisalze des Stassfurther Lagers hinsichtlich ihrer Bildung und Ablagerung weit getrennt sind von den Guanosorten resp. für die erstere auch eine sehr indirekte Abstammung aus Organismen nicht angenommen werden kann. So muss es namentlich bei denjenigen Düngemitteln, die ihrer Zusammensetzung nach im Wesentlichen phosphorsaurer Kalk sind, häufig zweifelhaft bleiben, ob ihre Entstehung sich indirekt auf Organismen zurückführen lässt oder nicht. Während für Bakerguano, Sombreroguano Koprolithen dieser Nachweis mit leichter Mühe gelingt, ist es für die sogenannten Phosphorite noch nicht gelungen, obgleich die Möglichkeit einer solchen Entstehungsweise offenbar auch für diese nicht geläugnet werden kann. Schliesslich kann eben die Anzahl der sekundären auf die Produkte einwirkenden Processe eine so bedeutende und vielartige sein, dass die ursprüngliche Entstehungsweise ganz in den Hintergrund tritt und auch der Zusammensetzung jener Produkte keinen charakteristischen Stempel mehr aufdrückt.

Wir werden nun zuerst solche Düngemittel betrachten, die in Hinsicht auf ihren Gehalt an Pflanzennährstoffen noch ziemlich unveränderte thierische und pflanzliche Produkte sind, daher eine etwas allgemeinere Düngebefähigung besitzen, und später diejenigen, für welche Dies nicht der Fall ist, die also nur in einzelnen Fällen eine Wirksamkeit haben und desshalb als Spezialdünger aufzufassen sind, in der Weise zu überblicken suchen, dass wir sie nach den Düngebestandtheilen ordnen, denen sie vorwiegend ihre Wirksamkeit verdanken.

Düngestoffe allgemeinerer Natur — man könnte sie auch absolute Düngemittel nennen, — welche in diese Klasse gehören, sind Seetange, die in einigen Gegenden Frankreichs zur Düngung im grossartigen Massstab benutzt werden, dann namentlich der Fischguano, weiter der Fledermausguano und ähnliche Stoffe, dann etwa noch die Vogelmistguanosorten, soweit sie keine tief eingreifenden Veränderungen durch Zersetzung und Auswaschungen erlitten haben, obschon sich diese Stoffe, wegen des fast vollständigen Fehlens einiger sehr wichtigen Pflanzennährstoffe, schon den Spezialdüngemitteln nähern.

Für alle die nun zu behandelnden Düngemittel lässt sich indessen Etwas ganz Allgemeines behaupten — und wir werden später von dieser Behauptung Nutzen ziehen, — dass nemlich ihre Zufuhr auf den Acker gerade das Umgekehrte bewirken muss, wie die reine Stallmistwirthschaft, für die in fast allen Fällen ein kleiner jedoch stätiger Verlust an Pflanzennährstoffen nachgewiesen werden kann. Die Quellen jenes Deficits haben wir ausführlich besprochen und haben gesehen, dass sie sich ohne Zuschuss von Aussen mindern, nicht leicht aber vollständig werden verstopfen lassen. Hier lernen wir Quellen des Zuwachses kennen, in Folge deren fremde Düngestoffe Bestandtheile der Ackerkrume werden. Es wird von Wichtigkeit sein.

sich darüber klar zu werden, ob diese Quellen reichlich genug fliessen oder wenigstens zu einem so reichlichen Fliessen veranlasst werden können. dass dadurch jener Verlust gedeckt werden kann.

Wir beginnen also mit der Betrachtung derjenigen nicht der Landwirthschaft entstammenden Düngemittel, die noch unveränderte thierische oder pflanzliche Produkte sind. Sie bestehen aus auf unkultivirtem Terrain wachsenden Pflanzen, aus den Leibern auf unkultivirtem Terrain sich ernährender Thiere und aus den Excrementen solcher Thiere.

In die erste Kategorie gehören Meeresalgen und die z. B. auf den Heiden Norddeutschlands wild wachsenden Pflanzen, die bei der sogenannten Plaggenwirthschaft als Düngematerial dienen u. s. f.

Eine grosse Anzahl von *Meeresalgen* und *Tangen* finden in der Landwirthschaft schon seit undenklichen Zeiten Verwendung. Schriftsteller *) der Alten erwähnen dieser Art von Düngung ganz ausdrücklich. Die hauptsächlich verwendeten Arten sollen den Fucoïdeen und Florideen angehören.

Was die Zusammensetzung solcher zur Düngung verwendeten Meeresalgen betrifft, so konnte in denselben bei einem Wassergehalt von 70 — 90%, 0,2 — 0,5% Stickstoff nachgewiesen werden, was also, auf die Trockensubstanz berechnet, keinen unbedeutenden Gehalt ausmacht. Ich selbst fand in der lufttrockenen Substanz von Meeresalgen, wie man sie vom Badestrand der Seebäder aufzulesen pflegt, 1,12% Stickstoff **). In der Asche, die zu 5 — 10% in der so ausserordentlich wasserreichen Substanz, bis zu 50% in der wasserfreien Substanz vorgefunden wurde, konnten 9—35% Kali, aber nur 2—6% Phosphorsäure nachgewiesen werden.

Bei der Düngung selbst sollen aber niemals die reinen, an Kali und Stickstoff (ob verfügbarem?) ziemlich reichen Algen zur Verwendung kommen, sondern dieselben werden mit einer grossen Menge von in denselben nistenden oder zufällig an denselben haftenden Seethieren gesammelt, wesshalb man sich den Düngewerth jener noch beträchtlich gesteigert denken kann.

Aus der mitgetheilten durchschnittlichen Zusammensetzung der Meeresalgen ist trotzdem ersichtlich, dass die mit denselben gegebene Düngung in Bezug auf unsere meisten Kulturgewächse eine etwas einseitige ist. Der Kaligehalt erscheint neben dem Phosphorsäuregehalt, auch wenn dies Verhältniss durch Beimengung einer beträchtlichen Menge von Stickstoff- und Phosphorsäure-reichen Seethieren (Muscheln, Seesterne, Garnaten) etwas abgeändert wird, ausserordentlich gross, und thatsächlich wird die Beimengung von Knochenmehl zu jenem Dünger, namentlich wenn man wie Dies sehr zweckmässig erscheint, Kompost aus demselben bereitet, lebhaft empfohlen.

Es muss bei diesen wie bei andern dem Meere abgewonnenen Düngestoffen auf den grossen Kochsalzgehalt derselben aufmerksam gemacht werden, der die Stoffe unter

*) Palladius, de re rustica I. p. 33. „Der Auswurf des Meeres ersetzt, ist er mit süssem Wasser ausgewaschen, mit andern Dung-Surrogaten, die Stelle des Düngers“ nach Heiden: Düngerlehre II. p. 415.

**) Blondeau (Journal f. pr. Chem. B. 98. p. 249) hat aus dem Seetang eine Substanz (dass Goëmin) gewonnen, die in heissem Wasser löslich ist, beim Erkalten aber geleeartig erstarrt und 21,36% Stickstoff, also mehr als die Proteïnkörper enthält.

Umständen direkt unanwendbar macht. In der Asche der Meeresalgen ist bis ein Viertel und sogar bis ein Drittel Kochsalz enthalten, und da man gerade in der Nähe von Meeresküsten, wo jene Düngestoffe allein Verwendung finden, von Kochsalzdüngungen niemals nützliche, häufig aber schädliche Wirkungen erwarten darf, so scheint sich das Auswaschen jener Stoffe mit Wasser, das schon in alter Zeit üblich gewesen zu sein scheint, zu empfehlen.

Neben dieser Verwendung von Meerespflanzen zur Düngung unserer Ackerfelder haben wir der Verwendung *von auf unkultivirtem Boden gewachsenen Pflanzen*, wie Dies bei der sogenannten *Plaggenwirthschaft* geschieht, Erwähnung gethan.

Diese eigenthümliche Bewirthschaftungsmethode, die auf den grossen Heideflächen Norddeutschlands üblich ist, wo der Boden so ausserordentlich unfruchtbar ist, dass er kaum den Anbau lohnt, ist sehr extensiver Art. Um den Grund der Unfruchtbarkeit dieses Bodens verstehen zu lernen, braucht man nur an dessen muthmassliche *) Entstehung zu erinnern. Diese Unfruchtbarkeit beruht nicht etwa auf einem Gehalt an schädlichen Substanzen, sondern einfach auf der ausserordentlichen Armuth an Pflanzennährstoffen, die für den reinen Dünensand so charakteristisch ist. Da nun die Menge der Pflanzennährstoffe in dem Boden eine verhältnissmässig so geringe ist, dass unsere Kulturgewächse in demselben kaum fortgebracht werden können, so sucht man jene auf eine billige Weise zu concentriren. Dem einzelnen Kolonisten **) stehen sehr grosse Bodenflächen zu einer solchen Concentrirung zur Verfügung, während er nur ein kleines Stück seiner Ländereien wirklich bebaut. Den grossen nichtangebauten Bodenflächen werden nun die Nährstoffe auf die Weise entzogen, dass man sie durch grosse Schafheerden beweiden lässt, die dann in einen Schafstall getrieben werden, wo man den fallenden Dünger sammelt und auf die zu kultivirenden Felder vertheilt. Soweit gehört das System nicht in das in Rede stehende Kapitel.

Gleichzeitig werden nun aber auch jene grossen Heideflächen periodenweise der auf ihnen sich bildenden Pflanzenprodukte auf die Weise beraubt, dass man dieselbe, wie wir Dies am Rasen zu sehen gewohnt sind, in einzelne „Plaggen" sticht, diese Plaggen dann in den Schafställen als Einstreu benutzt, und abwartet, bis sich eine neue Pflanzendecke gebildet hat, und so fortfährt. Auf diese Weise wird dann thatsächlich eine solche Concentration der wirksamen Bodenbestandtheile erzielt, dass man zu einzelnen Feldern von leidlicher Fruchtbarkeit gelangt ***). Zuweilen werden dann auch jene Plaggen auf Häufen in Brand gesteckt und die Asche auf die Felder gestreut, wobei dann selbstverständlich, wie sich Dies ja für einzelne Fälle empfehlen kann, zunächst nur eine Concentration der *mineralischen* Nährstoffe eintreten kann. Diese letzteren Betriebsmethoden nähern sich dann der Brennwirthschaft, wie sie in den Moorkolonien gebräuchlich ist, nur dass bei dieser die einem Stück Land entstammenden Pflanzennährstoffe nicht auf ein anderes übertragen, sondern nur in den oberen Bodenschichten desselben Stückes concentrirt werden; und nur

---

*) Siehe oben. Fünfundzwanzigste Vorlesung p. 33.

**) Im Grossherzogthum Oldenburg z. B. werden solche Heideflächen in ungeheurer Ausdehnung an Kolonisten abgegeben.

***) Vergl. übrigens die ungünstige Schilderung, welche v. Schorlemmer (Annal. d. Landw. B. 46. p. 30 und Jahresber. der Agrikulturchemie. 1865. p. 243) von der Plaggenwirthschaft macht.

solche Methoden sollten ja hier Besprechung finden, bei denen Düngung durch pflanzliche und thierische Stoffe stattfindet, die ihren Ursprung von nicht in landwirthschaftlicher Kultur befindlichen Landstrichen herleiten.

Hierhin gehört dann auch die *Holzasche*, welche schon in sehr alter Zeit zur Düngung von Feldern benutzt worden ist und nur desshalb jetzt mehr und mehr ihre Bedeutung als Düngemittel verliert, weil ihre Verwendung in der Technik eine sehr ausgebreitete ist, und die Landwirthschaft, wegen des geringen Preises, den sie für ihre Düngermaterialien zu bezahlen im Stande ist, nirgends die ernstliche Concurrenz mit den übrigen technischen Betriebsarten hinsichtlich eines Rohstoffes auszuhalten vermag. Die Holzasche entstammt dem Boden eines zur Zeit forstwirthschaftlich bewirthschafteten Grundstücks und kann insofern von der Landwirthschaft als ein Zuschuss von Aussen angesehen werden, sie kann Dies aber nicht (ebenso wenig wie die Heideplaggen) für die Düngerstatik eines ganzen Landes, in welchem ja in grösseren Zeiten die landwirthschaftliche und forstwirthschaftliche Nutzung auf einem und demselben Grundstück einander ablösen kann.

Um allerdings die wirthschaftliche Ursache dieser Wanderungstendenz der Düngestoffe von den forstwirthschaftlich benutzten Grundstücken auf die landwirthschaftlich benutzten, von Wald zu Feld, die uns auch in der Laubstreunutzung entgegentritt, und welche nicht durch ein entgegengesetztes Streben wieder ausgeglichen wird, verstehen zu lernen, werden noch einige Betrachtungen angestellt werden müssen, welche ich um des Zusammenhangs willen bis auf die allerletzten Vorlesungen aufgespart habe. Hier mag dann nur noch einmal daran erinnert werden, dass auch das gefallene Laub der Bäume, welches nach den noch üblichen Betriebsmethoden vieler Länder als Einstreu für das Vieh benutzt und so dem Stallmist einverleibt wird, in diese selbe Abtheilung von Düngestoffen gehört und dass sich ihm die sonst von Aussen kommenden Streumaterialien, wie Torf, Moos, Schilf, Binsen u. s. w. anschliessen.

Alle diese Materialien, genügt es, nebenbei zu erwähnen; die Holzasche verdient indessen hinsichtlich ihrer düngenden Wirkung eine etwas eingehendere Betrachtung. Wir brauchen zwar nicht weiter darauf hinzudeuten, dass die Holzasche unter allen Umständen ein einseitiges Düngemittel ist, da sie vermöge ihrer Entstehungsweise eben nur die *Aschenbestandtheile* von Vegetabilien enthält. Physikalische Wirkungen, eine Kohlensäurequelle, sowie eine Stickstofflieferung darf selbstredend von ihr nicht erwartet werden. Damit beschränkt sich aber offenbar ihre Anwendbarkeit wesentlich auf jene Ländereien und Kulturen, für welche man keinerlei Ansprüche auf derartige Wirkungen oder Zuschüsse macht.

Werfen wir aber einen kurzen Blick auf die nähere Zusammensetzung der Holzasche, so werden wir erkennen, dass in Folge derselben sich der Kreis ihrer Anwendbarkeit noch etwas enger zusammenzieht.

In 100 Theilen reiner wasserfreier Asche der folgenden Holzarten sind enthalten *):

*) Nach den Angaben Heidens (Düngerlehre II. p. 231).

	Kali.	*Kalk.*	*Magnesia.*	*Phosphorsäure.*	*Schwefelsäure.*	*Chlor.*
Buche	12,5	39,3	10,8	8,7	0,7	0,08
Birke	8,7	36,3	5,4	4,0	1,0	—
Kiefer	13,0	45,3	8,8	7,3	1,4	0,06
Tanne (Roth)	3,2	25,3	3,2	2,4	1,3	0,14

Bei den folgenden Angaben ist die Kohlensäure abgezogen, so dass dieselben etwa 20% zu hoch erscheinen.

Eiche	8,4	75,5	4,5	3,5	1,2	0,01
Weissbuche	10,6	52,2	8,5	10,7	1,5	0,3
Linde	37,8	31,6	4,4	5,1	5,6	0.6
Ulme	21,9	47,8	7,7	3,6	1,3	—
Tanne (Roth)	11,5	45,0	8,4	6,0	—	—
Lärche	15,2	27,1	24,5	3,1	1,7	0,4

Der allgemeine Charakter der Holzaschen ist trotz der nach einzelnen Analysen und Holzarten sehr wechselnden Zusammensetzung ziemlich deutlich aus einer solchen Zusammenstellung zu erkennen. Der verhältnissmässig grosse Kali- und Kalkreichthum ist beinahe für alle in die Augen fallend; und so sehen wir sie denn auch als Dünger für Pflanzen angewendet, welche zu ihrem Gedeihen vorzüglich eine grosse Kalimenge im Boden voraussetzen; das sind namentlich Wiesengräser und sonstige Futtergewächse. Besonders wird die Anwendung der Asche von den Praktikern auf Wiesen empfohlen, welche schlechte Gräser und Moose hervorbringen. An Stelle dieser sieht man nach Aschendüngung alsbald Kleearten auftreten, die man vorher gar nicht wahrgenommen hatte.

An Orten, wo die Asche selbst durch die Ansprüche der Technik der landwirthschaftlichen Benützung entrückt wird, kann häufig die sogenannte *Abasche*, der Auslaugungsrückstand nach der Potaschegewinnung aus derselben, an Stelle jener benutzt werden. Diese Abasche ist nun freilich sehr viel kaliärmer, dennoch ist nicht alles Kali aus derselben entfernt, da ein Theil des kohlensauren Kalis durch Bildung eines ziemlich unlöslichen Doppelsalzes mit dem kohlensauren Kalke vor Auslaugung beschützt bleibt. Dann kommen in solchen Abaschen, wie man sie aus Seifensiedereien und Bleichereien erhält, die anderen wirksamen Bestandtheile, wie namentlich die Phosphorsäure mehr zur Geltung, wodurch sie den Charakter eines einseitigen wirkenden Düngemittels beinahe einbüssen.

Neben der Holzasche ist dann wenigstens der *Torf*-, der *Braunkohlen*- und *Steinkohlen-Asche* Erwähnung zu thun. Der Torf hat je nach seiner Entstehungsweise eine so ausserordentlich verschiedene Aschenzusammensetzung*), dass sich Nichts All-

*) Heiden gibt auch (Düngerlehre II. p. 230) für die Zusammensetzung der Torfasche eine Zusammenstellung von Analysen, nach welcher der Gehalt an Kali variirt zwischen 0,85—3,64%, an Kalk von 5,81—45,73%, an Magnesia von einer Spur —24,36%, an Phosphorsäure von 1,43—6,29% u. s. f. Noch verschiedener ist der Gehalt des Torfs an Asche überhaupt, nach Nessler (Düngerlehre, Mannheim 1868. p. 46) 1—13%. Derselbe gibt weiter an (ebenda), dass der Torf, welcher die geringste Aschenmenge enthielte, also hauptsächlich zum Brennen Verwendung fände, die als Düngemittel werthvollste Asche gäbe, — ein Wink von erheblicher praktischer Bedeutung.

gemeines über die Rolle der Torfasche als Düngemittel sagen lässt. Die *Braun-* und *Steinkohlenasche* ist so arm an Kali und an Phosphorsäure, dass sie nur einen ganz geringen Düngewerth besitzt; ihre Hauptbestandtheile sind Kalk, Eisenoxyd, Schwefelsäure und Kieselsäure*).

Wir haben sodann diejenigen Düngestoffe abzuhandeln, die ihrer Masse nach aus Leibern von Thieren, die sich aber nicht auf Kosten von der Landwirthschaft oder dem kultivirten Boden entstammenden Produkten ernährt haben, bestehen. Derartige Düngestoffe fangen in neuerer Zeit an, in ganz grossartigem Massstab Verwendung zu finden, und dieselben haben ohne allen Zweifel bei weiterer Intensivirung unserer Betriebsmethoden eine noch grössere Zukunft. In erster Linie haben wir hier vom *Fischguano* und ähnlichen den Meeren abgewonnenen thierischen Produkten zu reden. Ein Theil dieser Stoffe sind ursprünglich Abfälle des Fischfangs, also entweder ganze zufällig mitgefangene, als Nahrungsmittel werthlose Fische und andere Seethiere, oder die bei der Zubereitung solcher Seethiere für die Versendung entfernten Theile derselben, die man früher, ehe ihr Düngewerth so hoch gestiegen war, oder man denselben erkannt hatte, in's Meer zurückgeworfen hatte. Einen anderen Theil solcher Stoffe fing man später an, wegen ihres Düngerwerthes direkt durch eine eigene Industrie (hauptsächlich wohl Auflesen am Strand) zu gewinnen, nachdem man einmal jene Erfahrungen gemacht hatte.

So werden an der französischen und belgischen Küste der Nordsee Mischungen von Muschelschalen und Seesternen, welche den Namen Coquilles animalisées führten, zur Düngung verwandt. Eine ähnliche Verwendung findet die Häringslacke, die ziemlich bedeutende Mengen von Stickstoff (namentlich Ammoniak und Propylamin) enthält. Man verwendet sie in der Nähe von Häringssalzereien häufig mit Stallmist, oder indem man sie einem Komposte einverleibt.

Die Produkte, die man jedoch hauptsächlich mit dem Namen Fischguano belegt, werden in neuerer Zeit eigens zum Zweck der Düngung im Grossen dargestellt und weithin verschickt. So besteht zu Concarneau bei Brest in der Bretagne eine Fabrik, die sich damit beschäftigt, die Ueberbleibsel von der Zubereitung der Sardellen zu einem transportabeln Dünger zu verarbeiten. An den englischen Küsten werden ähnliche Düngemittel aus Sprotten und Häringen bereitet, die man eigens zu dem Zwecke fängt. Ebenso werden in einer oldenburgischen Fabrik zu Varel die Garnaten (crevettes) zu einem künstlichen Dünger verarbeitet, und in Neufundland die Abfälle des Kabliaufangs nach geeigneter Präparation als Dünger nach Frankreich geschickt. Ausserdem existiren noch eine Anzahl von Fischguanofabrikationen in andern Ländern z. B. in Norwegen, Ostpreussen, Portugal, Helgoland **).

Diese Fischguanosorten sind nun ihrer Zusammensetzung nach ausserordentlich verschieden. Der Phosphorsäuregehalt schwankt von 3—16%, der Stickstoffgehalt etwa von 5—12%***), während der Kaligehalt ein ziemlich geringer ist und meistens un-

*) Wenn man die groben schlackenartigen Bestandtheile der Steinkohlenasche durch Absieben entfernt, so soll der Rest die werthvolleren Bestandtheile enthalten und als Düngemittel am Ehesten zu verwenden sein; siehe Nessler: ebenda.

**) Alle diese Angaben verdanke ich Heiden's Düngerlehre II. p. 281 u. f.

***) Ganz ausnahmsweise kommen noch stickstoffärmere Sorten vor.

ter 1 % zu betragen scheint*). Sie sind daher ziemlich einseitige Düngemittel, wenn sie auch gerade die werthvollsten Pflanzennährstoffe in sich enthalten, und nähern sich in ihren Eigenschaften dem Peruguano, der freilich ein viel rascher wirkendes Düngemittel darstellt.

Der Wassergehalt der Fischguanosorten ist meistens sehr gering 10—12 % und niemals 20 % übersteigend. Ueber die Hälfte derselben Düngestoffe ist gewöhnlich organische Substanz.

Näher auf die Zusammensetzung dieser Substanzen einzugehen, würde für unseren Zweck zuweit führen, und ich möchte hinsichtlich des Ursprungs des Fischguanos nur nochmals hervorheben, was für die Meeresalgen, die ihrer geringeren Transportfähigkeit halber nur in sehr viel beschränkterem Massstab Anwendung finden, schon betont wurde, dass wir es in allen diesen Düngmitteln mit Stoffen zu thun haben, die nicht der Landwirthschaft entstammen, durch deren Verwendung in der Landwirthschaft dieselbe also einen Zuschuss erfährt, der im entgegengesetzten Sinne wirkt, wie das Deficit, das dadurch entsteht, dass ein Theil der menschlichen, auf Kosten von landwirthsbhaftlichen Produkten erzeugten Excremente durch Kanalisation und Verspühlung in's Meer und für den landwirthschaftlichen Betrieb zunächst verloren geht. Es ist auf diese Weise schon hier ersichtlich, dass die in's Meer gelangten Stoffe nicht unwiederbringlich für die Ackerfelder verloren sind, dass es wenigstens Mittel gibt, die den Wiedergewinn solcher Stoffe aus dem Meere ermöglichen. Wir sind jetzt schon im Stande, die physische Möglichkeit eines solchen Wiedergewinns einzusehen, wenn wir auch die an diese Verhältnisse sich anknüpfenden wirthschaftlichen Fragen hier noch nicht lösen können.

An die von uns in diesem Kapitel behandelte Kategorie von Düngestoffen reihen sich nun noch die Excremente von wildlebenden Thieren an, die sich nicht auf Kosten landwirthschaftlicher Produkte ernähren, insofern solche Excremente sich in grösseren Massen ansammeln und abgebaut werden können. Der sogenannte *Fledermausguano* besteht einfach aus den Excrementen der Fledermäuse und findet sich häufig in grösseren Massen in den Höhlen der verschiedensten Länder angehäuft, ohne dass freilich diesem sehr stickstoffhaltigen Düngemittel **) eine weitgehende Bedeutung zukommen kann.

---

*) Zur näheren Orientrirung in den verschiedenen Fischguanosorten mögen folgende Angaben dienen:

Sehr phosphorsäurereich wurden bisher gefunden alle norwegischen Fischguano, welche in neuerer Zeit analysirt wurden, ferner der Helgoländer Guano und der Garnat-Guano mit Knochenmehlzusatz; sehr phosphorsäurearm dagegen die englischen, neufundländischen Sorten, der portugiesische Fischguano und der Garnat-Guano ohne Knochenmehlzusatz.

Die stickstoffreichsten Sorten sind der französische Fischguano, der Garnat-Guano, die norwegischen und ostpreussischen Produkte; sehr stickstoffarm wurde bisher nur der portugiesische gefunden.

Der Gehalt an organischer Substanz ist nicht allzusehr verschieden, und zeichnet sich nur der französische durch grossen Reichthum an dieser, der portugiesische durch grosse Armuth an derselben aus.

In wie weit sich diese Angaben, die ich wiederum den umfassenden Zusammenstellungen in Heiden's Düngerlehre entnehme, durch weitere Analysen als regelmässig bestätigen werden, muss ich einstweilen noch dahingestellt sein lassen.

**) Vergl. Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 155. p. 348.

Von ganz hervorragender wirthschaftlicher Bedeutung sind dagegen diejenigen *Guanosorten, welche aus den Auswurfstoffen von Seevögeln hervorgegangen sind,* sich auf einer Reihe von Inseln im Ocean nach und nach bis zu ungeheuren Massen angesammelt haben, und deren wichtigster Repräsentant bis jetzt der *Peruguano* gewesen ist.

Man muss, um die Möglichkeit einer solchen Ansammlung durch kaum berechenbare und jedenfalls sehr lange Zeiten hindurch zu verstehen, die eigenthümlichen klimatischen Bedingungen berücksichtigen, welche in den Gegenden, wo wir jene kolossalen Aufspeicherungen sonst so leicht zersetzbarer Stoffe vorfinden, herrschen; denn es kann ja keinem Zweifel unterliegen, dass z. B. bei unsern klimatischen Verhältnissen Etwas dergleichen eine reine Unmöglichkeit wäre. Sehen wir ja selbst die an sich weit weniger zesetzbaren Excremente der Thiere unserer Umgebung, den Einflüssen der Witterung in vollem Masse ausgesetzt, nach kurzer Zeit ihre wesentlichsten düngenden Bestandtheile und damit ihre Befähigung, als Dünger dienen zu können, fast ganz einbüssen*).

Die klimatische Voraussetzung zur Ablagerung und Conservirung grosser Massen von thierischen Auswurfstoffen in nur wenig verändertem Zustande ist die vollkommene Regenlosigkeit **) eines Ortes, und nur da, wo diese unerlässliche Bedingung erfüllt ist, sehen wir jene kolossalen Ansammlungen von natürlichem Guano, für den der Peruguano der hervorragendste Repräsentant ist. Wo wir an Orten, für welche diese Voraussetzung nicht zutrifft, Ablagerungen von Stoffen antreffen, welche ähnlichen Ursprungs sind, gleichfalls als Düngemittel Verwendung finden und auch mit dem Namen Guano belegt werden, da haben wir's auch regelmässig mit Substanzen zu thun, die ihre ursprüngliche Zusammensetzung eingebüsst haben, ganz einseitig wirkende Düngemittel geworden sind, und nicht zur Gruppe des Peruguano gehören. Wir werden indessen auch einigen dieser Stoffe eine kurze Aufmerksamkeit schenken.

Für die Guanosorten der regenlosen Zone ist der Ursprung leicht nachzuweisen. Auf den Inseln oder Küstenstrichen, wo wir diese Ablagerungen antreffen, nisten noch heute Seevögel, und in den abgelagerten Schichten finden wir alle möglichen Anhaltspunkte dafür vor, dass sie den Excrementen, aber auch den Eiern, Leichen dieser Thiere ihre Entstehung verdanken. Wir haben schon in einer früheren Vorlesung die Auswurfstoffe einiger körnerfressenden Vögel, Tauben (Hühner) als verhältnissmässig concentrirt und stickstoffreich kennen gelernt. Für die Excremente fleischfressenden Vögel, welche die Guanoinseln bewohnen, tritt wiederum dieser Nahrung entsprechend der Stickstoff- und Phosphorsäuregehalt noch vielmehr in den Vordergrund; dazu trocknen in der Sonnengluth der dortigen Himmelsstriche die gefallenen breiigen, schon an sich wasserarmen Auswurfstoffe rasch aus, ehe noch die

*) Ich erinnere an die Veränderungen des Stalldüngers, wenn man ihn ohne Schutz den Witterungseinflüssen aussetzt. Vergl. die vierunddreissigste Vorlesung.

**) Boussingault berichtet, dass, als er zu Payta an der Perou'anischen Küste war, es dort seit 17 Jahren nicht geregnet hatte; in Chochope wird ein Regen vom Jahre 1726 als historisches Ereigniss verzeichnet; vergl. Compt. rend. T. 51. p. 844. Ebenda weitere Angaben über das Vorkommen des Guano.

Harnsäure, in welcher Form fast aller aus dem Blute augeschiedene Stickstoff in dem Harn der Vögel und Reptilien vorhanden ist, Gelegenheit findet, mit einiger Vollständigkeit die ihr eigenthümliche Zersetzung zu erleiden. Man braucht sich nun blos an den schon an sich hohen Stickstoffgehalt des Fleisches wie überhaupt des ganzen thierischen Körpers zu erinnern und im Auge zu behalten, dass die Fleischfresser, welche sich auschliesslich von diesen Stoffen ernähren, dabei einen grossen Theil der organischen Substanz zerstören, den Stickstoff aber und die Aschenbestandtheile (mit Ausnahme einer kleinen Menge, die gelegentlich als Ansatz dient) wieder vollständig ausgeben, um eine Vorstellung vom Stickstoffreichthum der abgeschiedenen Excremente solcher Thiere zu gewinnen. In der That hat man in den Excrementen der Adler ausserordentlich grosse Mengen von Stickstoff gefunden. Die Trockensubstanz dieser Auswurfstoffe scheint nach einigen Angaben beinahe ganz und gar aus Harnsäure zu bestehen.

Die hierher gehörigen Guanosorten zeigen nach zahlreichen vorhandenen Analysen ungefähr folgende Zusammensetzung:

	Peruguano).*	*Angamasguano.*	*Lobosguano**).*	*Ichaboeguano.*	*Egyptischer Guano.*
Wasser	14,8 %	7,4—22,3 %	16,8 %	16,1—29,3 %	15,1—17,2 %
Organ. Substanz (u. Ammoniaksalze)	52,4	56,0—64,8	46,1	17,5—44,3	39,3—39,5
Stickstoff	14,4	17,4—19,3	9,8	3,1— 9,1	10,9—11,8
Phosphorsäure	13,5	7,1	9	— (Phosphors. Erden)	18,3—19,9
Alkalisalze	7,4	(Kali) 2,5— 3,3	11,5	—	—
Asche	32,8	21,7—27,8	37,1	—	43,3—45,6

Der ausserordentliche Stickstoffreichthum fast aller Guanosorten dieser Gruppe ist deutlich aus den angeführten Analysen zu ersehen, dessgleichen der hohe Gehalt an Phosphorsäure, welche sich auch hier wiederum als eine treue Begleiterin jenes erweist. Die meisten dieser Guanosorten zeigen ganz erhebliche Mengen von Kali, jedoch weitaus zurücktretend gegen jene beiden andern düngenden Bestandtheile, für welche jene als Spezialdünger anzusehen sind.

In Bezug auf die chemische Form, in welcher der Stickstoff in diesen Guanosorten vorhanden ist, lässt sich sagen, dass diese Form eine durchaus für das Pflanzenwachsthum rasch zugängliche ist. Man hat, abgesehen von der praktischen Erfahrung, die Dies in unzweideutigster Weise lehrt, besonders den Peruguano, der von den aufgeführten Düngestoffen bis jetzt allein von grosser Bedeutung ist, hinsichtlich der chemischen Natur seiner stickstoffhaltigen Bestandtheile ganz eingehenden Untersuchungen unterworfen, aus denen genau Dasselbe hervorgeht.

Beinahe die Hälfte der Substanz des Peruguanos besteht aus in Wasser leicht löslichen Stoffen, und unter diesen wiegt harnsaures und oxalsaures Ammoniak vor. Es ist leicht verständlich, wie diese Substanzen in den Guano gelangen, da wir wissen, dass die Oxalsäure in einer sehr nahen Beziehung zur Harnsäure, dem ursprünglich einzigen stickstoffhaltigen Bestandtheile der Vogelexremente steht. Zerfallen

*) Durchschnitt vieler Analysen.

**) Eine Analyse. Alle diese Angaben nach den Zusammenstellungen in Heiden's Düngerlehre.

doch gewisse der Harnsäure chemisch sehr nahe stehende Körper unter bestimmten Umständen in Harnstoff und Oxalsäure. Wir müssen uns daher Oxalsäure sowohl als das Ammoniak als Zersetzungsprodukte der Harnsäure*) denken. Der unlösliche Theil des Guanos besteht dann wesentlich aus noch unzersetzter Harnsäure und aus phosphorsaurem Kalk. Ausserdem kommt dann noch ein Theil des Stickstoffs im Guano in Form einer organischen Base, als Guanin vor, jedoch nur eine zurücktretende Menge.

Ich habe gesagt, dass dieses Ergebniss der chemischen Untersuchung des Guanos auch für dessen brauchbare Form als Düngemittel und für dessen rasche Wirkung spricht, denn einmal müssen die bis dahin durch Mangel an Wasser verhinderten Zersetzungsvorgange nun rasch vor sich gehen, wenn der Guano unter plötzlich veränderten Bedingungen in die feuchte Ackererde gelangt. Es müssen dann schnell die eigentlichen stickstoffhaltigen Pflanzennährstoffe entstehen, andererseits ein grosser Theil der Aschenbestandtheile direkt oder unter Einwirkung der sich zersetzenden organischen Substanz in Lösung und so mindestens zu einer günstigen Vertheilung in der Ackererde gelangen. Und selbst, wenn die Zersetzung der betreffenden stickstoffhaltigen organischen Bestandtheile des Guano nicht ganz vollständig vor sich ginge, wenn ein grösserer oder kleinerer Theil der Harnsäure sich im Boden nicht so rasch zersetzen sollte, als man Dies anzunehmen geneigt ist, so haben wir ja gesehen **), dass auch zur Noth dieser Stoff als direktes Pflanzennahrungsmittel dienen kann, obwohl vielleicht der experimentelle Nachweis dieses Sachverhalts gerade für die Harnsäure noch unvollkommen ist***).

In Betreff der spezifischen Nützlichkeit der Oxalsäure, welche ja in reichlicheren Mengen im Peruguano enthalten ist, hat Liebig eine eigene Theorie aufgestellt, in der Absicht, die so ausserodentlich günstige Wirkung des letzteren, welche er nicht gerne auf den grossen Stickstoffgehalt zurückführen möchte, auf diese Weise aufzuhellen. Die Theorie ist indessen zu problematischer Natur†), als dass ich ihr hier eine Stelle einräumen möchte; ausserdem erscheint auch die Wirkung vom Peruguano heute, wo wir reichere und umfassendere Erfahrungen auf dem Gebiet der vergleichenden Düngungsversuche gemacht haben, keineswegs mehr so ausser allem Verhältniss mit seinem Gehalt an Pflanzennährstoffen.

Nach der mitgetheilten Zusammensetzung präsentirt sich nun der Peruguano (und seine Verwandten) als ein Düngemittel von sehr grosser Concentration, das im

*) Dies kann (ausser aus der theoretischen Beziehung der Oxalsäure zur Harnsäure) aus der Thatsache geschlossen werden, dass der Gehalt eines einzelnen Guanos an Harnsäure und Oxalsäure im umgekehrten Verhältniss zueinander zu stehen pflegt.

**) Vergl. die elfte Vorlesung p. 172.

***) Vergl. auch die vollständigen Zusammenstellungen über diesen Gegenstand bei P. Wagner: Journ. f. Landw. 1869. p. 88 u. Vogel: Bayr. Akad. X B. III. Abth. 1870.

†) Dieselbe behauptet, dass das oxalsaure Ammoniak des Peru-Guano durch Wechselzersetzung mit dem phosphorsauren Kalk desselben dazu beitrage, die Phosphorsäure nach und nach in Lösung zu bringen (vergl. Annal. d. Chem u. Pharm. B. 119. p. 11); indessen ist bei der Complicirtheit der Verhältnisse in der Ackererde gar nicht abzusehen, ob eine derartige Reaktion wirklich in der gedachten Weise verlaufen kann, wie auch Heiden mit vollkommener Stichhaltigkeit hervorhebt (vergl. Lehrb. d. Düngerlehre II. p. 257).

Verhältniss zu seinem Gehalt an Pflanzennährstoffen (nicht absolut) sehr geringe Mengen von organischer Substanz in sich enthält. Von Pflanzennährstoffen enthält derselbe in hervorragender Menge die beiden werthvollsten d. h. gerade diejenigen, welche bei unserer Stallmistwirthschaft im grössten Verhältniss zu ihrem Vorrath im Boden ausgeführt werden, und nach denen in Folge dessen am Meisten Nachfrage besteht, die also fast regelmässig im Minimum in unsern Kulturböden vorhanden sind, und deren Zufuhr desshalb mit grösster Wahrscheinlichkeit Mehrerträgnisse gewährt, — Stickstoff und Phosphorsäure, und zwar beide in fast durchaus leichtzugänglicher Form. — Hieraus lässt sich schon im Wesentlichen die Bedeutung dieser Guanosorten als Düngemittel und auch Einiges über ihre zweckmässige Anwendung folgern. Dieselben schliessen sich in einer Beziehung sehr enge an gewisse schon behandelte Düngestoffe an; sie theilen mit den menschlichen Excrementen und der Jauche den grossen Mangel an festen organischen Substanzen und sind damit wie jene unfähig, physikalisch verbessernd auf Böden einzuwirken, schwere Böden zu lockern u. s. w.; sie theilen ferner mit den menschlichen Excrementen den vorwiegenden Gehalt an Stickstoff und Phosphorsäure, sind aber ungleich concentrirter als jene. Diese letztere Eigenschaft macht für die Anwendung des Peruguano ganz besondere Vorsichtsmassregeln, feine Vertheilung auf den Feldern durch vorsichtiges Ausstreuen oder Vermengung mit Erde vor dieser Manipulation und dergleichen nothwendig, und aus der Unterlassung dieser Vorsichtsmassregeln stammen viele schlimme Erfahrungen*), welche man bei den ersten Versuchen mit diesem Düngestoff gemacht hat.

Der Gehalt des Peru-Guano an den zwei landwirthschaftlich wichtigsten Düngebestandtheilen macht seine Anwendbarkeit trotz seiner (im Verhältniss zum Stalldünger oder zu den abgeernteten Pflanzenstoffen) einseitigen Zusammensetzung zu einer sehr allgemeinen, beinahe für alle Feldfrüchte von Erfolg begleiteten, und wäre jener Mangel an physikalischer Bodenverbesserung nicht, welchen eine grosse Anzahl unserer Felder nicht entbehren können**), so würde es physisch möglich sein, an vielen Orten Jahrzehnte oder Jahrhunderte lang mit diesem Düngemittel allein mit Erfolg zu wirthschaften. Es ist desshalb unnöthig, im Speziellen Pflanzen anzuführen, für deren Kultur der Peruguano vorzugsweise geeignet erscheint.

Mit einigen Worten ist hier auch eines aus dem Peru-Guano künstlich dargestellten Düngemittels zu erwähnen, des *„aufgeschlossenen“ Peru-Guano*. Man behandelt seit einer Reihe von Jahren den Peru-Guano, gerade wie wir Dies früher für das Knochenmehl kennen gelernt haben, mit Schwefelsäure, um auf diese Weise die Phosphorsäure leicht löslich und für die Pflanzen zugänglicher zu machen. Soweit diese Fabrikation sich auf den *seebeschädigten* (durch Seewasser bei der Ueberfahrt angefeuchteten) Guano erstreckt, kann ihr eine gewisse Zweckmässigkeit nicht ab-

*) Einfach, weil auf diese Weise zu concentrirte Nährstofflösungen im Boden entstehen, welche den Pflanzen schädlich sind.

**) Nur in dieser Hinsicht kann zugegeben werden, dass der Peru-Guano nur ein Hülfsdünger ist, nicht aber wie Dies Heiden (Düngerlehre II. p. 256) thut, im Hinblick auf seine Kaliarmuth, da die Mehrzahl der in Kultur stehenden Felder sich noch sehr wenig dankbar für Kalizufuhr zeigt.

gesprochen werden, denn durch das Wasser ist im Guano der Impuls einer tiefgreifenden Zersetzung gelangt, die mit der Entwickelung von Ammoniak, also mit Stickstoffverlust verbunden ist. Die Zumischung von Schwefelsäure verhütet natürlich unter Anderem diesen Verlust und schützt den seebeschädigten Guano vor weiterem Zurückgehen im Stickstoffgehalt. Ob aber die gleiche Fabrikation auch für wohlerhaltenen zweckdienlich ist, muss Angesichts der praktisch ermittelten Thatsache der raschen Wirksamkeit der Phosphorsäure des Guanos und, da das Urtheil der landwirthschaftlichen Praktiker über jenes Produkt noch kein sicher feststehendes ist, vielleicht bezweifelt werden. Der aufgeschlossene Peru-Guano enthält durchschnittlich 10 % Stickstoff und 10 % lösliche Phosphorsäure.

Der Peru-Guano wurde von den Peruanern schon in sehr früher Zeit — sichere Nachrichten liegen vor für das zwölfte Jahrhundert — angewendet, ein nahe verwandter Guano auch um dieselbe Zeit schon in Arabien*), und diese Thatsache lässt im Verein mit der Entstehungsweise dieser Ablagerungen dieselben als natürliches Düngemittel erscheinen, wenn auch die Einfuhr dieser Stoffe in Europa erst in den vierziger Jahren dieses Jahrhunderts begann, und die naturwissenschaftliche Einsicht in die Ernährungsverhältnisse der Pflanzen denselben mit zur weiteren Verbreitung geholfen hat

Eine ganz andere weit untergeordnetere Stellung hinsichtlich Zusammensetzung und ihrer Bedeutung als Düngemittel, als der Peru-Guano und die andern Vogelexcrementablagerungen regenloser Zonen nehmen diejenigen Guanosorten ein, welche denselben Ursprung haben aber an Orten entstanden sind, wo Regen fällt. Dort machen die Vogelexcremente alle die Zersetzungen rasch durch, welche für stickstoffhaltige Auswurfstoffe charakteristisch sind, dort erleiden die löslichen Theile derselben und, was durch Zersetzung löslich wird, unausgesetzte Auswaschungen. An die Entstehung eines Stickstoff- oder Alkali-reichen Produkts ist in solchen Gegenden natürlich schon von vorneherein nicht zu denken. Wo aber solche Ablagerungen von Vogelexcrementen auf einer Unterlage von Kalksteinen geschehen, da ist Gelegenheit gegeben zur Bildung von phosphorsaurem Kalk, der seiner Unlöslichkeit wegen der Auswaschung widersteht und dann, natürlich vermischt mit anderen mineralischen Unreinigkeiten, abgebaut werden kann.

In dieser Klasse von Düngestoffen haben wir es also zu thun mit Substanzen, welche, obgleich ursprünglich auf eine Art entstanden, wie die Dünger, welche eine absolute Düngewirkung zeigen, dennoch nur eine ganz einseitige Düngebefähigung besitzen, vielmehr in Folge sekundärer Processe zu einem relativen Düngemittel herabgesunken sind und so den Uebergang machen zu einer in der nächsten Vorlesung zu behandelnden Klasse von Düngestoffen, welche nicht organischen Ursprungs sind und desshalb nur rein zufällig dies oder jenes düngende Princip in sich enthalten.

Für diese, wesentlich aus phosphorsaurem Kalk bestehenden Guanosorten sind der *Baker-* und *Sombrero-Guano* die bekanntesten Repräsentanten, und um von der Zusammensetzung derselben einen Begriff zu geben, theile ich folgende Ergebnisse der vielen angestellten Analysen dieser Substanzen mit.

*) Vergl. Heiden ebenda p. 241.

	Baker-Guano.	*Sombrero-Guano.*	*Jarvis-Guano.*	*Howland-Guano* *)
Wasser	3,3—10,5%	2,9—10,1%	8,5—15,8%	7,2%
Organische Substanz	6,6— 9,5	4,4— 6,6	6,0—10,3	14,2
Stickstoff	0,3— 1,0	?	0,3— 0,6	?
Phosphorsäure	37,0—40,3	32,5—39,6	17,7—26,5	Phosphate 75,3
Kali	0,1— 0,6	sehr wenig.	Spuren— 0,5	sehr wenig.
Kalk	39,1—43,5	22,7—51,7	33,5—36,3	?
Asche	80,0—89,7	85,0—9 ,0	74,8—81,9	78,6

Aus allen Analysen ist ersichtlich, dass diese Guanosorten als mehr oder weniger durch andere ziemlich gleichgültige Stoffe verunreinigter phosphorsaurer Kalk zu betrachten sind. Für sie ist natürlich, da sie keine erheblichen Mengen leicht zersetzbarer stickstoffhaltiger organischen Stoffe besitzen, das Aufschliessen durch Schwefelsäure sehr zweckdienlich. Ja die Wirksamkeit dieser Substanzen als Düngemittel ist gar keine erhebliche, wenn man nicht jene Operation mit ihnen vornimmt. Unsere hochgrädigen Superphosphate (bis 20 % lösliche Phosphorsäure) werden zur Zeit fast alle aus dem Baker- und Sombrero-Guano dargestellt. Für die Anwendung und Wirkungsweise dieser Superphosphate gilt selbstverständlich ungefähr das Nemliche, was für das auf dieselbe Weise aufgeschlossene Knochenmehl hervorgehoben wurde.

An diese Guanosorten reihen sich dann noch die sogenannten *Koprolithen* (und Osteolithen) an, ebenfalls fossile Stoffe von grossem Reichthum an phosphorsaurem Kalk und hervorgegangen aus den festen Excrementen vorweltlicher Thiere sehr verschiedener Art (oder aus deren Knochen), wahre, der Form nach noch sehr ähnliche, Versteinerungen derselben bildend, welche sich in sehr vielen Ländern in England, Russland, Böhmen, Frankreich in ansehnlichen Mengen finden. Die Koprolithen, welche indessen unregelmässiger zusammengesetzt sind, als die letztbehandelten Guanosorten, und namentlich häufig einen bedeutenden Gehalt an Eisenoxyd und Thonerde zeigen, werden gemahlen ebenfalls zur Darstellung von (niedriggrädigen) Superphosphaten verwendet, und auch sie zeigen als feines aber unaufgeschlossenes Pulver auf die Felder gestreut keine erhebliche düngende Wirkung.

Siebenunddreissigste Vorlesung.

Die Düngemittel mineralischen Ursprungs.

Im Gegensatz zu denjenigen Stoffen, welche der Natur ihrer Entstehungsweise nach eine gewisse Düngebefähigung besitzen, indem sie einmal Bestandtheile eines Organismus gewesen sind und desshalb in ihrer Zusammensetzung noch eine gewisse

*) Eine Analyse. — Die Angaben nach Heiden's Zusammenstellungen.

Uebereinstimmung mit diesen Organismen zeigen und so geeigenschaftet sind, auch von Neuem wieder zum Aufbau von Organismen beizutragen, wollen wir heute von solchen Stoffen reden, bei denen Dies nicht nachweisbar der Fall ist und die daher eine derartige Zusammensetzung nicht besitzen. Wenn solche Stoffe oder Fabrikate aus solchen Stoffen dennoch eine gewisse Düngebefähigung besitzen, so rührt Dies einfach her von dem Gehalt an diesem oder jenem Pflanzennährstoff oder eines indirekt (auf den Boden) wirkenden chemischen Körpers, deren Vorhandensein in gewissem Sinne als *ein zufälliges* bezeichnet werden kann. Daraus folgt dann weiter, dass derartige Düngemittel *einseitige, spezifische, relative* sein werden, da doch ein merkwürdiges Zusammentreffen in Bezug auf einander rein zufälliger Vorgänge eintreten müsste, um auf unorganischem Wege Substanzen entstehen zu lassen, in denen eine ähnliche Mischung der einzelnen zum Aufbau von Organismen erforderlichen Bestandtheile stattfände, wie in diesen Organismen selbst. Die Betrachtungsweise nach dem Ursprung, wie wir sie eingeschlagen haben, führt uns also zu einer ganz analogen Unterscheidung zwischen absoluten und relativen, zwischen allgemeinen und spezifischen Düngemitteln, wie man sie sonst lediglich im Hinblick auf ihre Wirkungsweise zu machen gewohnt ist, nur dass jene sogleich eine Erklärung für die so verschiedene Düngebefähigung der einzelnen Substanzen gibt.

Allein wir haben schon in der letzten Vorlesung gesehen, dass jener Gesichtspunkt uns doch zuweilen im Stiche lässt, dass namentlich Düngestoffe organischen Ursprungs und ursprünglich mit einer vielseitigen Düngebefähigung begabt, durch sekundäre Processe nach und nach so ihre ursprüngliche Zusammensetzung in einer gewissen Richtung abändern können, dass sie schliesslich nur einen einzigen der kostbaren Pflanzenährstoffe in ansehnlichen Mengen in sich enthalten und so ganz und gar ihren organischen Ursprung verleugnen, mit einem Worte spezifische Düngemittel geworden sind.

An die Düngemittel, für die das Ebengesagte zutrifft und mit denen die letzte Vorlesung abgeschlossen wurde, welche also in gewissem Sinne den Uebergang bilden von den absoluten zu den relativen Düngemitteln, knüpfen wir heute wieder an und beginnen mit der Behandlung der Phosphorsäure-reichen Spezialdünger, zu denen schon die besprochenen Baker-, Sombrero-Guano und die andern stickstoffreichen Guanosorten, ferner die Koprolithen, die Knochenkohle, die Knochenasche und die aus diesen Stoffen dargestellten Superphosphate gerechnet werden müssen.

An diese Stoffe sicher erwiesenen organischen Ursprungs reihen sich nun einige andere von beinahe derselben Zusammensetzung und derselben praktischen Bedeutung als Düngemittel an, für die eine Abstammung aus untergegangenen thierischen Organismen oder deren Auswurfstoffen zweifelhaft*) oder ganz und gar unwahrscheinlich ist. Es sind Dies die sogenannten *Phosphorite*, welche sich häufig in ihrer Zusammensetzung aber nicht in der äussern Form (welche gerade für die Koprolithen den organischen Ursprung beweist) den Koprolithen ausserordentlich nähern.

*) Hier wäre dann auch das Navassa-Phosphat von einer der karaïbischen Inseln Erwähnung zu thun, welches, obschon organische Substanz enthaltend, bisher nicht für organischen Ursprungs gehalten wurde; vergl. H. v. Liebig: Jahresber. f. Agrik.-chem. 1866. p. 240. Indessen wird diese Ansicht von Ulbricht bestritten; vergl. ebenda 1867. p. 181.

Für das mittlere Europa sind zur Zeit die Phosphorite des *Lahnthals* von hervorragender Bedeutung zur Darstellung von Superphosphaten geworden. Die im Lahnthale befindlichen bauwürdigen Lager dieses Minerals sind nemlich von erheblicher Ausdehnung und lassen eine ziemlich wohlfeile Gewinnung des wichtigen Düngestoffs zu, so dass nach ihrer Inangriffnahme in den sechziger Jahren eine bedeutende Preiserniedrigung der Phosphorsäure-Dünger erfolgte.

Die zuerst analysirten *Lahnphosphorite* ergaben einen Gehalt von 30—37 % Phosphorsäure; doch die jetzt in den Handel gelangenden bewegen sich in der Regel zwischen 27 und 32 %, da wie es scheint weniger reichhaltigere Lager mit abgebaut werden mussten. Im Uebrigen ist ausser einem der Phosphorsäure entsprechenden Kalkgehalt für die Lahnphosphorite ein Gehalt von 2—4 % Fluor, das für eine Phosphoritspecies, den Apatit als ein constituirender Bestandtheil betrachtet wird, ferner von etwas Thonerde und namentlich von etwas Eisen charakteristisch*). Diese letzteren Gemengtheile sind vom Uebel, weil sie das Aufschliessen des Phosphorits mit Schwefelsäure sehr erschweren und auch wohl die Ursache sind, dass die so dargestellten Superphosphate beim Lagern ihren Gehalt an löslicher Phosphorsäure theilweise wieder (durch Bildung von Eisenphosphaten?) einbüssen oder nach der Kunstsprache der Düngerfabrikanten „zurückgehen".

Aehnliche Phosphoritlager, bei denen die Lagerungsverhältnisse eine Abstammung von Organismen mehr oder minder zweifelhaft machen, sind nun in sehr verschiedenen Ländern, aber meistens von nicht sehr erheblicher Ausdehnung und Bedeutung aufgefunden worden. Sie führen theils nach ihren mineralogischen Eigenthümlichkeiten, theils aber auch durch sehr willkürliche Benennung den Namen Phosphorit oder Apatit, zuweilen auch Osteolith. Es hat keinen Zweck, dieselben hier einzeln aufzuzählen.

Neben den phosphorsäurereichen Spezialdüngemitteln haben wir nun — wenn wir wie immer diejenigen Pflanzennahrungsstoffe als Klassificirungsprincip benutzen, welche durch das grosse Verhältniss, in dem sie von den Pflanzen aufgenommen, durch das kleine, in dem sie in verfügbarer Form im Boden vorhanden sind, als besonders wichtig erscheinen — zunächst die *stickstoffreichen Spezial Düngemittel* zu unterscheiden und zu behandeln.

Allein auch für diese ist jene scharfe Grenze kaum zu ziehen, auch für diese lässt sich, wenn auch ihre Zusammensetzung eine ganz einseitige geworden ist, häufig ein indirekter Ursprung aus Organismen ableiten. Nur werden in diesem Falle öfters die sekundären Momente, welche jene Veränderungen herbeigeführt haben, sich als menschliche Fabrikationsfähigkeit, nicht als in der Natur wirkende Erscheinungen darstellen; — die stickstoffhaltigen Spezialdüngemittel sind theilweise Fabrikatinos-Abfälle.

Um einzusehen, dass sich Dies in der That nicht anders verhalten kann, muss man sich an gewisse Betrachtungen erinnern, welche wir im ersten Theile dieser Vorlesungen**) über die Bedingungen des Entstehens und der Ansammlung des gebundenen Stickstoffs angestellt haben. Nur der gebundene Stickstoff erwies sich als Pflanzennahrung; durch die Assimilation desselben durch die Pflanzenwelt war die erste Be-

*) Vergl. Analysen des Lahnphosphorits ebenda p. 186.

**) Die zwölfte Vorlesung

dingung zu dessen Aufsammlung, zur Aufsammlung stickstoffhaltiger Nahrung für eine neue Vegetation gegeben; ohne dieselbe reichten die natürlichen Processe der Entstehung von gebundenem Stickstoff nicht aus, um an irgend einem Orte Stickstoffverbindungen in erheblichen Mengen anzuhäufen*). Daraus geht unmittelbar hervor, dass da, wo solche Ansammlungen geschehen, Dies nur durch Organismen geschehen sein kann, und, wenn wir an manchen Orten Stoffe vorfinden, welche die übrigen Bestandtheile der Organismen eingebüsst haben, Dies durch sekundäre Processe geschehen sein muss, ähnlich wie der Baker-Guano durch solche sekundäre Einwirkungen seinen Stickstoffgehalt eingebüsst hat und ein spezifischer Phosphorsäure-Dünger geworden ist. Bei einem und vielleicht dem wichtigsten Spezial-Stickstoffdünger ist allerdings dieser Zusammenhang, den uns jene Betrachtung anzunehmen zwingt, noch nicht mit genügender Evidenz nachgewiesen worden, und wenn Dies nicht wäre, so hätten wir eigentlich die reinen Stickstoffdünger schon in der vorigen Vorlesung behandeln müssen.

Die spezifischen Stickstoff-Düngemittel sind *salpetersaure Salze und Ammoniakverbindungen*, oder Substanzen, die neben sonst gleichgiltigen Stoffen, diese in erheblicher Menge enthalten.

Von *salpetersauren Salzen* kommt allein das *salpetersaure Natron*, der sogenannte *Chilisalpeter* in sehr grossen baufähigen Lagern in der Natur vor**). Wer dagegen mit der Entstehungsweise und der Fabrikationsmethode des *Kalisalpeters* nur einiger Massen vertraut ist, der kann sich schon von vorneherein die Frage beantworten, ob dieser eine Rolle als Düngemittel spielen kann. Man würde freilich durch den Kalisalpeter zwei Pflanzennährstoffe auf einmal dem Boden zuführen, und seine Verwendung bei Vegetationsversuchen oder bei der Blumenzucht zeigt dessen grosse Wirksamkeit; allein es ist daran zu erinnern, dass dieser Salpeter, soweit er eben nicht aus dem weit billigeren Natronsalpeter durch Wechselzersetzung mit einem Kalisalz dargestellt wird, auf eine Weise gewonnen wird, aus welcher direkt gefolgert werden kann, dass eine Anwendung desselben in der Landwirthschaft nicht lohnend sein kann. Man lässt nemlich bei der Fabrikation in den Salpeter-Plantagen die salpetersauren Salze aus Basen und stickstoffhaltigen verwesenden Stoffen entstehen, in ganz ähnlicher Weise wie diese Stoffe auch auf unsern Feldern, ehe sie in die Pflanze übergehen, diese entgültige Form annehmen. So producirten Salpeter zur Düngung in der Landwirthschaft verwenden, hiesse also den schon vorhandenen gebundenen Stickstoff in einer sehr reinen Form mühsam aus der Ackerkrume gewinnen, um ihn dann wieder der Ackerkrume einzuverleiben. Dies kann unmöglich eine vortheilhafte Operation sein, denn weit einfacher wäre es ja, die betreffenden stickstoffhaltigen verwesenden Stoffe als Dünger zu benutzen, für deren Uebergang in Salpetersäure man ja dann keine weitere Sorge zu tragen brauchte und wobei man die Darstellungskosten des Salpeters sparen würde. Aus diesem Gesichtspunkte ergibt sich also, dass der Kalisalpeter, obwohl an sich selbstverständlich ein vortreffliches

---

*) Allerdings mit dieser oder jener Ausnahme. Ich erinnere an die Salmiakansammlungen in der Nähe von Vulkanen, die aus der Anziehung atmosphärischen Ammoniaks durch die von diesen exhalirte Salzsäure erklärt werden, und einige andere Vorgänge.

**) Die natürlichen Lager von Kalisalpeter kommen wenigstens für die Gewinnung von Düngestoffen kaum in Betracht.

Düngemittel, wirthschaftlich keine ausgedehnte Bedeutung als solches gewinnen kann. Will man neben Stickstoff auch Kali der Pflanze zuführen und stehen dafür keine natürlichen Düngungsmittel zu Gebote, so würde man zweckmässiger neben dem kalifreien Chilisalpeter einen spezifischen Kalidünger verwenden.

Ganz anders steht es von eben demselben Gesichtspunkte aus mit diesem *Natronsalpeter.* Wir finden ihn in grossen Mengen fertig in der Natur vor, gleichsam des Abbaus harrend, an Orten, wo er nicht zur Pflanzenproduktion dienen kann. In einigen regenlosen Landschaften *Chili's* und *Peru's* finden wir diese Körper über grosse Ebenen längs der Küste verbreitet zu Tage liegend*), ohne dass man eine klare Vorstellung hat, wie er dahin gekommen sein mag.

Gemäss den früher geltend gemachten und vorhin wieder rekapitulirten Anschauungen über die Ansammlung des gebundenen Stickstoffs sollte man sich der Hypothese zuneigen, dass auch zur Ansammlung desselben in diesem Falle Organismen mitgewirkt haben müssten, und in der That sind von Seiten der Geologen derartige Hypothesen ausgesprochen worden, ohne dass sie freilich meines Wissens allgemeine Zustimmung erlangt hätten. Man hat die Ansicht ausgesprochen, der natürliche Natronsalpeter habe an den genannten Küstenstrichen seine Entstehung dadurch genommen, dass grosse Massen von Meeresalgen, welche ja bekanntlich manche sehr ausgedehnte Strecken des Oceans zu wahren grünen Wiesen machen, durch grosse Sturmfluthen in früherer Zeit auf das Land geschleudert worden seien, und dass daselbst sich aus dem Stickstoff der verwesenden Algen und aus dem Natron des Seesalzes jener Salpeter gebildet haben möchte. Es muss nun allerdings zugegeben werden, dass diese Hypothese schon desshalb unbefriedigend sein muss, weil bei Acceptation derselben nicht einzusehen ist, was aus dem Chlor des Seesalzes, was aus der Phosphorsäure der Algen geworden ist, denn die Annalysen des unverarbeiteten Chilisalpeters weisen nur verhältnissmässig geringe Mengen von Chlor und keine Phosphorsäure nach u. s. w. — Allein die Aufstellung dieser Hypothesen ist insofern lehrreich, als man auch hier wieder seine Zuflucht zu Organismen nimmt, indem man nicht einzusehen vermag, wie ohne diese Vermittler eine so bedeutende Stickstoffsammlung hat stattfinden können.

Der Chilisalpeter wie er in den Handel gelangt, ist schon das Produkt einer rohen Reinigungsmethode und von den fremden Beimischungen ziemlich befreit. Derselbe hat, wenn nicht verfälscht einen Gehalt von 89—99 % salpetersaurem Natron, entsprechend 14—16 % Stickstoff.

Der Preis desselben ist noch etwas zu theuer, um eine recht allgemeine rentable Nützung dieses Düngemittels zuzulassen; seine Düngebefähigung an sich, wie auch namentlich die des Kalisalpeters ist schon in früher Zeit und ganz unabhängig von der naturwissenschaftlichen Erkenntniss der Gesetze der Pflanzennährung bekannt gewesen.

Ueber die Anwendung dieses Düngemittels lässt sich sagen, dass man es niemals im Herbste ausstreuen soll, sondern kurz vor der Aussaat der damit zu ernährenden Pflanze, auch sehr zweckmässig als Kopfdüngung auf die schon herangewachsene. Zu welchen Kulturen seine Verwendung vorzüglich anzurathen ist, darüber

*) An einigen Orten liegt er freilich nicht ganz an der Oberfläche.

hat sich wohl noch kein ausreichendes praktisches Urtheil gebildet, doch kann vielleicht in dieser Hinsicht eine Parallele mit der Jauche gezogen werden. Eine Salpeterdüngung wird wie jene mehr dazu dienen, einer Saat in einer gewissen Periode aufzuhelfen, ihr Wachsthum zu beschleunigen, als dass man für eine bestimmte Kultur ausschliesslich diese Düngung wählte. Wenigstens würde sich bei unserem Zustand der Felder in letzterem Falle gar leicht ein Mangel an Aschenbestandtheilen. besonders an Phosphorsäure fühlbar machen. Kurz der Chilisalpeter ist fast mehr wie irgend ein anderer der bisher behandelten Stoffe ein Hülfsdüngemittel.

Die *Ammoniakverbindungen*, welche zur Düngung Verwendung finden, nehmen sammt und sonders ihren unmittelbaren Ursprung aus technischen Etablissements, wo sie als Abfallsprodukte, oder auch als Hauptprodukte von künstlich eingeleiteten Processen entstehen. Die in der Natur vorkommenden (schon vorhin berührten) Ammoniakverbindungen, wie wir sie in der Nähe von Vulkanen oder auch in Braunkohlen und Alaunschiefern vorfinden, sind in ihrem Auftreten nicht bedeutend genug. um hier irgendwie in Betracht zu kommen.

Als technisches Abfallsprodukt treten die Ammoniakverbindungen in sehr grossem Masstab, wenn auch in sehr verdünnter Form, bei der Gasfabrikation auf. Die Steinkohlen enthalten ganz analog dem Torf*) und wie alle fossilen Brennmaterialien sehr erhebliche Mengen von Stickstoff, welcher bei der trocknen Destillation jener zum grössten Theil als Ammoniak (resp. kohlensaures Ammoniak) entweicht; dieses letztere ist in dem rohen Steinkohlengas enthalten. Da aber nun das Leuchtgas, ehe man es in den Gasometer und die Leitungen treten lässt, verschiedenen Reinigungsprocessen unterworfen wird, worunter auch das einfache Waschen durch Wasser eine Rolle spielt, so sammelt sich in diesem Wasser neben einigen andern Destillationsprodukten auch Ammoniak an. Dieses ammoniakhaltige Waschwasser oder „*Gaswasser*", welches mithin ein Abfallsprodukt der Gasfabrikation ist, dient entweder direkt als Düngemittel und kann z. B. zum Ueberrieseln der Wiesen**) benutzt werden, oder aus demselben werden Ammoniaksalze wie namentlich schwefelsaures Ammoniak dargestellt. Die so resultirenden Ammoniaksalze gelangen dann auch in den Düngerhandel und sind natürlich dem Gaswasser gegenüber durch seine leichte Transportabilität ausgezeichnet.

Das *Gaswasser* ist je nach den herrschenden Reinigungsmethoden ausserordentlich verschieden reich an Ammoniak; man wird aber vielleicht im Durchschnitt nicht ganz 1 % (kaustisches) Ammoniak darin vermuthen dürfen.

Das *schwefelsaure Ammoniak*, das, wie gesagt, zum Theil aus diesen Gaswässern dargestellt, zum Theil auch — und früher war Dies die einzige Quelle — aus thierischen Abfallstoffen durch trockene Destillation gewonnen wird, gelangt in sehr reiner Form in den Handel, so dass man nahezu entsprechend der Formel, 21 % Stickstoff in demselben voraussetzen darf. Es ist auch hier wieder einleuchtend, dass die Fabrikation aus thierischen Abfällen für die Verwendung als Düngemittel unmöglich lohnend sein kann, da es weit einfacher wäre, jene direkt dem Boden einzuverleiben, oder sie zur Kompostbereitung zu benutzen. Es lässt sich hieraus zugleich folgern, dass die Fabrikation von Ammoniaksalzen aus thierischen

*) Vgl. über Stickstoff in Humussubstanzen die siebenundzwanzigste Vorlesung p. 67 u. f.

**) Natürlich je nach seinem Gehalt, nach der entsprechenden Verdünnung mit Wasser.

Abfällen heute keine grosse Rolle mehr spielt, dass diese vielmehr zur Blutlaugensalzfabrikation und dergleichen werthvolleren Produkten allein Verwendung finden können, da doch Ammoniaksalze in der Landwirthschaft, wenn auch nicht in sehr grossem Massstabe, mit Erfolg gebraucht werden.

Für die Anwendung der Ammoniaksalze gilt im Allgemeinen Etwas Aehnliches wie für die des Chilisalpeters, nur dass man mit der Ausstreuung der ersteren wegen der Absorbirbarkeit dieser nicht nöthig hat, in der Zeit so nahe an die Pflanze, die mit denselben ernährt werden soll, zu rücken.

Eine dritte Gruppe von spezifischen Düngemitteln enthält als werthvollen Bestandtheil denjenigen Pflanzennährstoff, an dem es nächst Stickstoff und Phosphorsäure im Boden am Häufigsten gebricht, — *das Kali.*

Die *spezifischen Kalidünger*, zu deren Besprechung wir nunmehr übergehen, sind sammt und sonders ihrer Entstehung nach rein mineralischer Natur. Es gibt keine Processe auf der Oberfläche unseres Planeten, die — wie wir Dies namentlich für einige Phosphorsäure-reiche Dünger kennen gelernt haben — bestrebt sind, irgend welche der organischen Welt entstammenden Stoffe in einer Weise umzubilden, dass spezifische Kalidünger aus denselben entstehen könnten, und selbst die kalireichsten Organismen und Organismen-Reste enthalten an sich nicht so viel Kali neben den grossen Mengen von anderen Stoffen von Düngewerth, dass man sie auch nur als (in dieser Richtung) sehr einseitige Dünger bezeichnen könnte. Es gehören daher die spezifischen Kalidünger dem Mineralreich an; wir finden dieselben als Ablagerungen, für deren Entstehung wir irgend einen geologischen Process, dem wir die vorzugsweise Ansammlung von Kalisalzen zuschreiben müssen, in Anspruch zu nehmen uns gezwungen sehn. Auf diese geologischen Processe näher einzugehen, liegt jedoch ausserhalb unserer Aufgabe. Wir können nur suchen, dieselben anzudeuten.

Als kalihaltiges Material, das mehrfach schon versuchsweise zu Düngezwecken benutzt worden ist, wäre hier zunächst der kalireiche Feldspath und die Gesteine, in denen Feldspath in grosser Menge vorkommt, zu erwähnen. Es ist selbstverständlich, dass dessen Anwendung in Pulverform geschieht. — Ueber das Vorkommen des Feldspaths in den sogenannten plutonischen Gesteinen brauchen wir hier weiter kein Wort zu verlieren. Wir haben seiner Zeit beim Besprechen der Zusammensetzung der Gesteine gesehen, dass es eben unter den krystallinischen Gesteinen eine Anzahl solcher gibt, die auch ihrer Pauschanalyse nach sehr beträchtliche Mengen von Kali enthalten*), welches eben bei der Bildung der einzelnen Mineralien aus jenen Gesteinen heraus (die wir uns gewöhnlich als eine Art von Auskrystallisiren aus einer feurig flüssigen, schon vorher gleichförmig gemischten Masse denken) zur Bildung von einzelnen sehr kalireichen Mineralien innerhalb jener Gesteine Veranlassung gegeben hat. Warum manche der krystallinischen Massengesteine kalireich sind und daher zur Feldspathbildung fähig waren, andere dagegen kaliarm sind und vorzugsweise Oligoklas, Quarz, Labrador, Hornblende, oder Augit in sich enthalten, dafür kennen wir zur Zeit, wie wir auseinanderzusetzen Gelegenheit hatten, noch keine plausible Hypothese.

Es ist nun einleuchtend, dass solche Gesteine, die auch zur Bildung von kalireichen Böden Veranlassung gegeben haben, auch als Dünger in derselben Richtung

---

*) Vergl. die vierundzwanzigste Vorlesung.

zu wirken im Stande sein müssen, vorzüglich wenn man die Verwitterung durch Vergrösserung der Oberfläche, also durch feines Mahlen zu begünstigen sucht.

Die Verwendung solcher kalireichen Silicate als Düngemittel ist jedoch — und Dies jedenfalls wegen der Schwerverwitterbarkeit der Feldspathe und Leucite — wohl noch nirgends eine sehr rentable Operation geworden*). Man hat zwar mehrfach versucht, kalireiche Gesteine, nachdem sie gemahlen, durch geeignete Schichtung mit verwesenden (Kohlensäure und Salpetersäure liefernden) Substanzen oder auch durch Behandeln mit englischer Schwefelsäure einer raschen Zersetzung entgegenzuführen oder selbst, um die Zerkleinerungskosten zu sparen, solche Gesteine zur Beschotterung auf Chausséen zu verwenden und den dort entstehenden Staub und Schlamm zur Düngung zu verwenden, aber bis jetzt ohne sehr hervorragenden Erfolg für die landwirthschaftliche Praxis, so sehr auch derartige Versuche der Fortsetzung werth erscheinen. Auch fabrikmässig lässt sich das Feldspathpulver ausserordentlich billig herstellen, ohne dass in Folge davon die Anwendung solcher Materialien zur Düngung eine irgendwie bedeutende geworden wäre, und nur der Chausséeschlamm einzelner Beschotterungsmaterialien, also ein Material, das die Landwirthe umsonst erhalten können und dessen Düngewerth sich in manchen Fällen nicht ohne Weiteres auf den Kaligehalt der Materialien zurückführen lässt, wird an einigen Orten von jenen der Verwendung gewürdigt.

Von weit bedeutenderer Wichtigkeit sind wenigstens für Deutschland die erst seit Kurzem endeckten sehr ausgedehnten *Kalisalzablagerungen in Stassfurth* geworden, und wenn auch die direkt geförderten Salze, wegen Vorhandenseins schädlich wirkender Stoffe und ungünstiger chemischer Form nicht Alles Das gehalten haben, was sie ursprünglich für die Landwirthschaft zu versprechen schienen, so haben doch die fabrikmässig dargestellten Präparate an vielen Orten sich eine bleibende Stelle unter den Düngemitteln erworben. Namentlich in den Stassfurth benachbarten Orten, wo der Transport die Kalidünger noch nicht allzusehr vertheuert, wo ausserdem durch intensiven Rübenbau der Boden etwas an Kali verarmt und für Kalizufuhr dankbar geworden ist, scheinen**) Düngungen mit stassfurther Salzen, wenn sie als Beidünger zu andern Düngern gegeben werden, ziemlich allgemein rentable Operationen zu sein.

Bei der bedeutenden Wichtigkeit dieser Düngesalze für die landwirthschaftliche Praxis erscheint indessen ein etwas näheres Eingehen auf dieselben, namentlich auf ihre Beziehung zu den ursprünglich geförderten Materialien wohl gerechtfertigt. Aber auch hierin gedenke ich thunlichst kurz zu sein.

Die kalihaltigen Rohmaterialien des stassfurther Bergwerks sind die über dem Steinsalz gelegenen Abraumsalze, welche im preussischen Theil des Bergwerks bei 816 Fuss Tiefe erscheinen und sich bis zu 974 Fuss Tiefe erstrecken, wo alsdann zunächst das unreine Steinsalz von noch nicht ergründeter, aber jedenfalls sehr bedeutender Mächtigkeit beginnt. Im Anhaltinischen braucht man nicht halb so tief zu

---

*) Von einzelnen Orten abgesehen. So sollen die Landleute um Eisenach feldspathhaltiges Gestein in die Jauche werfen, worin dasselbe sich innerhalb sechs Monaten zersetzen soll.

**) Ein ganz sicheres Urtheil lässt sich zur Zeit über diesen Gegenstand nicht abgeben.

gehen, um auf die Abraumsalze zu gelangen; sie haben aber auch dort nahezu dieselbe Mächtigkeit.

Man denkt sich ganz allgemein die Bildung jenes grossartigen Salzlagers in der Weise vor sich gegangen, dass ein vom Weltmeer durch irgend eine Terrainveränderung abgeschnittenes Salzbecken der langsamen Verdunstung, ähnlich wie jetzt etwa das todte Meer, unterlegen sei, und dass sich dabei die einzelnen Salze in der Reihenfolge ihrer Schwerlöslichkeit abgelagert hätten. So habe sich nothwendig das wenigstens in der ursprünglichen Mutterlauge schwerlöslichere Kochsalz früher, also weiter unten ablagern müssen als die Doppelsalze von Kali und Magnesia, die wir in den obern Abraumschichten mehr vertreten finden.

Unter den sogenannten Abraumsalzen hat man etwa 9 verschiedene Mineralien unterschieden*), von denen jedoch nur fünf, nemlich der *Polyhalit, Carnallit, Silvin, Tachhydrit* und *Kaïnit* kalihaltig sind und nur drei zur Düngerfabrikation Verwendung finden, nemlich zwei kalihaltige Mineralien, der *Carnallit* und *Kaïnit* und ein kalifreies, der *Kieserit*. Ursprünglich versuchte man das rohe, sich durch grossen Chlorgehalt auszeichnende Abraumsalz, ohne weitere Auslesung und Verarbeitung vorzunehmen, auf den Düngermarkt zu werfen. Höchstens hatte man solchen rohen Kalisalzen etwas gereinigtes Chlorkalium zugesetzt, und so enthielten dieselben neben verhältnissmässig wenig Kali (10 % und weniger) grosse Mengen von unter Umständen für den Pflanzenwuchs sehr schädlichen Bestandtheilen, wie Chlormagnesium und grössere Mengen von Chlornatrium, die ausserdem die Transportfähigkeit des angebotenen Produkts wesentlich herabdrückten.

Man sah sich aber bald genöthigt, Düngepräperate darzustellen, die für die Verwendung in der Landwirthschaft günstigere Zusammensetzungen hatten, und von solchen Produkten finden sich nun eine Unzahl von so verschiedener Reinheit und entsprechend wechselndem Düngewerth im Handel, dass es schwierig ist, sich unter denselben zurecht zu finden. Namentlich tragen hiezu viel die unklaren und zum Theil betrügerischen Benennungen der Düngepräparate bei.

Der *Carnallit,* der nach der Formel $KCl + MgCl_2 + 6H_2O$ (oder alt: $KCl + 2MgCl + 12aq$) zusammengesetzt ist, in dem Zustand aber, wie er gefördert wird, nur etwa 16 bis 17 % Chlorkalium (statt 26,9 %) enthält und stark mit Kochsalz und schwefelsaurer Magnesia und Chlormagnesium verunreinigt ist, dient zur Darstellung von mehr oder weniger reinen Chlorkaliumpräparaten, die als *3 fach, 4 fach, 5 fach concentrirtes Kalisalz* in den Handel gebracht werden und dann je nach der Bezeichnung durchschnittlich 32 %, 41 % oder 52 % Kali als Chlorkalium enthalten. Die Verunreinigung besteht wesentlich aus Kochsalz, und nur bei den unreineren Produkten ist ausserdem noch schwefelsaure Magnesia vorhanden. — Ursprünglich sind diese Chlorkalium-Salze nicht zu Düngezwecken, sondern für die Salpeter- und Alaun-Fabrikation dargestellt worden, und man versuchte die bei dieser Fabrikation sich ergebenden Abfälle, die ihrer Entstehungsweise nach neben ziemlich geringen Mengen Chlorkalium und schwefelsaurem Kali schwefelsaure Magnesia, Chlormagnesium und Kochsalz enthalten mussten, unter dem leicht irreführenden Namen, *rohes*

---

*) Vergl. Ulbricht: Chem. Ackersmann. 1867. p. 238; Birnbaum: Die Kalidüngung in ihren Vortheilen und Gefahren. 1869.

schwefelsaures Kali auf den Düngermarkt zu bringen. Dieses Salz hat sich unter den Düngemitteln, trotz der vielfach zweifelhaften Erfolge, die damit erzielt worden, noch bis jetzt, wohl wegen seines ausserordentlich billigen Preises (der Centner in Stassfurth 15 Sgr.) erhalten. Es enthält 10—12 % Kali, 50—60% Kochsalz und die schon angeführten weiteren Verunreinigungen.

Es ist hier der Ort, an Einiges zu erinnern, was schon früher über die eigenthümliche Wirkung der Chlorverbindungen als Düngemittel ausgesagt wurde*). Ich hatte Gelegenheit, auf die Erfolge aufmerksam zu machen, welche namentlich bei der Kultur von Gewächsen, die sehr kalibedürftig sind, wie Rüben, Kartoffeln, Tabak nach Kalidüngungen und auf die, welche bei chlorhaltigen Düngungen mit grosser Regelmässigkeit einzutreten pflegen. Wir haben namentlich gesehen, dass während die Qualität der genannten Gewächse unter dem Einfluss der kalihaltigen Dünger, die kein Chlor enthalten, wesentlich verbessert werden kann, also z. B. durch Düngung mit schwefelsaurem Kali, die chlorhaltigen Düngemittel in der entgegengesetzten Richtung zu wirken pflegen, also den Zuckergehalt bei den Rüben, den Stärkemehlgehalt bei den Kartoffeln, die Verbrennlichkeit beim Tabak herabzudrücken bestrebt sind. Am schädlichsten wirkt aber das Chlor in einem Dünger, wo es an Kalcium oder Magnesium gebunden ist oder, wenn der chlorhaltige Dünger in Berührung mit einem Boden gebracht wird, wo Veranlassung zur Bildung dieser Salze gegeben ist. Wenn es nun auch einige Pflanzen wie z. B. unsere Wiesengräser gibt, die sehr unempfindlich gegen diese schädigenden Einflüsse sind, und auf die in manchen Fällen eine chlorhaltige Kalidüngung sehr günstig einzuwirken vermag, so darf eben nicht vergessen werden, dass Dies für die kalibedürftigsten Pflanzen nicht gilt, dass bei diesen häufig die Vortheile einer Kali-Düngung durch die Nachtheile einer Chlordüngung aufgehoben werden.

Desshalb war für die Stassfurther Kalidünger-Industrie die Entdeckung eines Minerals unter den Abraumsalzen, aus dem die Darstellung eines kalireichen aber chlorfreien Düngerpräparats ausführbar war, wahrhaft epochemachend. Im Jahre 1865 fand man unter den Abraumsalzen den *Kaïnit* in grösseren Mengen**), ein Mineral, das man bis dahin kaum beachtet hatte. Demselben kommt die Formel $K_2SO_4 + MgSO_4 + MgCl_2 + 6H_2O$ (oder alt: $KOSO_3 + MgOSO_3 + MgCl + 6aq$) zu***), und es enthält also im Wesentlichen nur schwefelsaure Salze, obgleich es in dem unreinen Zustande, wie es gefördert wird, nur 23—24 % schwefelsaures Kali einschliesst.

Durch einfaches Kalciniren dieses Kaïnits erhält man nun ein Düngesalz, das unter dem Namen „rohe Kalimagnesia" in den Handel kommt und nur etwa 17 % Kali, daneben 26—35 % Kochsalz, 5—6 % Chlormagnesium und natürlich viel schwefelsaure Magnesia enthält.

Aus dem Kaïnit wird nun aber eine Reihe von ziemlich chlorfreien Salzen fabrikmässig erhalten, die bei Düngungsversuchen häufig auch in Bezug auf Qualität Gutes geleistet

*) Vergl. die fünfzehnte Vorlesung p. 252.

**) Hauptsächlich in den oberen Schichten des Anhaltinischen Lagers.

***) Uebrigens deuten andere Analysen auf die Formel ($KCl + 2 MgOSO_3$) + 6 aq (alt) hin; vergl. Jahresber. f. Agrik.-chem. 1867. p. 196. Von Einigen wird der Kaïnit sogar für ein blosses Salzgemenge gehalten.

haben, und deren Anwendbarkeit in der Landwirthschaft nur durch den ziemlich bedeutenden Preis dieser Präparate eingeschränkt wird. Das eine dieser Salze ist das *„gereinigte schwefelsaure Kali"*, welches aus dem Kaïnit nach einem mehrfach patentirten Verfahren dargestellt wird und je nach dem Preis 40—50 % Kali und nur äusserst geringe Mengen von Chlormetallen enthält. Zwei andere solcher aus dem Kaïnit gewonnenen Salze bestehen wesentlich aus dem Doppelsalz von schwefelsaurem Kali und schwefelsaurer Magnesia. Das eine die sogenannte *„krystallisirte schwefelsaure Kalimagnesia"* enthält dieses Doppelsalz mit mehreren Atomen Wasser zusammen krystallisirt, nur wenig Kochsalz (4 % etwa) und kein Chlormagnesium, welches letztere ja im Kaïnit wenn auch in geringen Mengen als constituirender Bestandtheil vorhanden ist. Dieses krystallisirte Salz wird nun als solches in den Düngerhandel gebracht, und der Käufer fährt meistens trotz des Ballastes von Wasser, den er mit erhält, nicht übel bei dem Ankauf desselben, da die krystallinische Form die Verfälschung mit anderen werthloseren Salzen unmöglich macht. Ein anderes wasserfreies Produkt wird aber durch Kalciniren jenes Salzes erzielt, das dann unter dem Namen *„schwefelsaure Kalimagnesia"* in den Handel kommt.

Für die beiden letzteren Salze ist also der Gehalt an Magnesia charakteristisch. Man sucht die schwefelsaure Magnesia bei der Fabrikation gar nicht zu entfernen, weil man derselben einen gewissen Düngewerth beilegt; und in der That haben wir es ja in diesem Salz mit einem Pflanzennährstoff zu thun, der sogar in dieser selben Form bei den Wasserkulturversuchen den Pflanzen mit Erfolg zugeführt wird. Dennoch ist der Düngewerth dieses Salzes für sich ein geringer, da dessen Bestandtheile im natürlichen Boden meistens in hinreichender Menge vorhanden und auch durch Anbau noch nicht hinreichend vermindert sind, um durch Zufuhr dieser Stoffe im Allgemeinen erhebliche Mehrerträge erzielen zu können. — Indessen hat dasselbe häufig eine Wirkung als indirektes Düngemittel, wie wir später sehen werden*).

Das krystallisirte Salz enthält 20—22 %, das kalcinirte 25—30 % Kali, während im ersteren etwa 10 %, im letzteren 13 % Magnesia nachgewiesen werden können. An Stelle des kalcinirten Salzes wird in neuerer Zeit häufig ein etwas geringeres Produkt, das genau dieselbe Menge von schwefelsaurem Kali, aber sehr viel geringere Mengen von schwefelsaurer Magnesia und an Stelle dieser Wasser, schwefelsaures Natron und Unlösliches enthält, unter dem Namen *„gereinigte schwefels. Kalimagnesia"* verkauft. Dieses Produkt wird hergestellt durch Vermischen von zerdampftem *Kieserit*, welches Mineral wir sogleich als dritten Ausgangspunkt der stassfurther Düngerfabrikation ins Auge fassen werden, also von schwefelsaurer Magnesia in sehr wenig löslicher Form, mit schwefelsaurem Kali. Die beiden Hauptbestandtheile sind in demselben nicht in äquivalenten Mengen vorhanden, bilden zusammen kein Doppelsalz, und darum soll namentlich dieses Salz sich weit weniger zur Ueberstreuung des Mistes und des fermentirenden Knochenmehls, sowie zur Mischung mit der Jauche, wo die schwefelsaure Kalimagnesia die früher erläuterte Rolle des Gypses spielen und das durch Zersetzung gebildete kohlensaure Ammoniak fixiren soll, eignen, wie das krystallisirte (und das durch Kalciniren aus diesem dargestellte) Doppelsalz, welches eine grosse Löslichkeit besitzt.

---

*) Vergl. die achtunddreissigste Vorlesung p. 279 Anm. *).

Endlich dient also der *Kieserit*, der Nichts weiter ist als schwefelsaure Magnesia mit einem Aequivalent Wasser, zur Darstellung von Düngesalzen. Derselbe wird natürlich auch nicht rein gefördert, sondern vermischt mit Kochsalz, Anhydrit und andern Körpern und muss erst durch hier nicht näher zu beschreibende Processe gereinigt werden. Es resultirt so ein Salz, was in den Handel gelangt, von etwa 70—76 % schwefelsaurer Magnesia, 14 % Gyps, 9 % Wasser etc. und das sich wie der Kieserit selbst durch seine Schwerlöslichkeit auszeichnet. Dieses Salz heisst gewöhnlich *„rohe schwefelsaure Magnesia“*. Ausser diesem wird dann auch noch eine *„kalihaltige schwefelsaure Magnesia“* angeboten, die jedoch bedeutende Mengen von Chlor enthält und keiner eingehenden Besprechung werth erscheint.*) Diese letztgenannten kalifreien oder kaliarmen Düngemittel haben noch sehr wenig Verbreitung gefunden und haben wohl, wie auch der sogenannte *Kalkmagnesiadünger*, der durch Vermischen des Kieserits mit Aetzkalk dargestellt wird, keine hervorragende Bedeutung für die Landwirthschaft**).

Jedenfalls besitzen wir in den stassfurther Abraumsalzen ein sehr kostbares Material, das der Landwirthschaft grosse Dienste zu leisten im Stande sein wird. Manche der in den Handel gekommenen und noch kommenden Düngesalze sind zwar nur einer sehr beschränkten Anwendung fähig, und der hohe Gehalt an Kali wird häufig durch ungünstige Beimischungen und unpassende chemische Form seiner Wirksamkeit beraubt; aber seitdem man mehr und mehr gelernt hat, diese Uebelstände zu vermeiden, seitdem man namentlich für die kalibedürftigsten Pflanzen Düngemittel, wie das reine schwefelsaure Kali und die schwefelsaure Kalimagnesia dargestellt hat, die nicht wie Dies bei den chlorhaltigen Kalidünger der Fall war, das an der Qualität schlecht machten, was sie an der Quantität der erzielten Feldfrüchte gut gemacht hatten, kann der Nutzen, den die Auffindung jener Stoffe für die Landwirthschaft mit sich bringt, nicht mehr bezweifelt werden; und wenn auch der Boden aller der Landgüter, die in Bezug auf Kali nur einen geringen Raubbau treiben, wie Dies da geschieht. Wo bei Stallmistbetrieb lediglich Korn und Viehprodukte ausgeführt werden, der Ersatz des Kali durch die verhältnissmässig noch theueren Düngesalze in den meisten Fällen noch nicht rentabel erscheint, so gilt doch ganz etwas Anderes für die Landgüter, wo grossartige und dauernde Kartoffel-, Zuckerrüben-, Tabak-Produktion mit vollständiger Ausfuhr dieser Produkte besteht.

Was die Anwendung der Kalisalze betrifft, so ist nicht mehr nöthig zu bemerken, dass sie nur die Rolle von Beidüngern spielen können. Wir haben weiter gesehen, dass die schwefelsaure Kalimagnesia gelegentlich zum Ueberstreuen des Mistes benutzt oder in der Jauche aufgelöst wird, wo sie gleichzeitig die Rolle des Gypses spielt und den Ammoniakverlust verhütet. In Betreff der Anwendung der Kalisalze zu besonderen Kulturen sind wohl noch keine hinreichenden Erfahrungen gesammelt, um

*) Näheres über stassfurther Düngesalze ist zu finden bei O. Cordel: Die Stassfurther Kalisalze u. s. w. Aschersleben 1868 und K. Birnbaum: Die Kalidüngung u. s. w. Berlin 1869.

**) Indessen haben Dietrich (vergl. Jahresber. d. Agrik.-chemie 1863—64, p. 195) und Andere Vortheile von Bittersalzdüngungen bei gleichzeitiger Verwendung eines stickstoffhaltigen Düngemittels beobachtet. Vgl. auch die achtunddreissigste Vorlesung p. 279.

ein endgültiges Urtheil zu gestatten*). Die so verschiedenen und sich anscheinend widersprechenden Resultate**) der vielen angestellten Düngungsversuche haben aber wenigstens Das mit Sicherheit erwiesen, dass bei keiner andern Düngung das Princip des absoluten Wiederersatzes des durch eine Ernte Entnommenen oder zu Entnehmenden sich weniger bewährt hat, als gerade bei der Kalidüngung. Es sind in der That weit weniger bestimmte Kulturen für die sich eine Düngung mit Kalisalzen durchweg als nützlich erwiesen hat, sondern man hat weit eher für bestimmte Bodenverhältnisse Erfolge von ihr gehabt. In gewissen Gegenden will die landwirthschaftliche Bevölkerung durchaus Nichts von Kalidüngern wissen***) und stützt sich dabei auf die Erfolglosigkeit einer grösseren oder kleineren Reihe von Düngungsversuchen; aus andern Gegenden wird von verhältnissmässig günstigen Erfahrungen bei ganz denselben Kulturen berichtet.

Es ist gewiss nicht sehr schwierig, die Ursache dieses Verhaltens einzusehen. Wir haben schon hervorgehoben, dass das Kali unter den Stoffen, welche im Boden im Verhältniss zum Bedarf der Gewächse im geringsten Masse vorhanden sind, derjenige ist, der sich in seinem Vorkommen schon mehr den vielen andern Pflanzennährstoffen nähert, welche durchschnittlich im Ueberfluss vorhanden sind, und denen desshalb nur in seltenen Fällen eine Düngewirkung zukommt. Der Gehalt der Böden an Kali ist verhältnissmässig bedeutend und bei der reinen Stallmistwirthschaft wird in Korn und Fleisch nur sehr wenig Kali weggeführt, Mengen die meistens lange Zeit durch den Verwitterungszuschuss — oder auch, wenn Wässerwiesen vorhanden sind, durch das Berieselungswasser mehr als gedeckt werden können. Nur bei intensivem Rüben- oder Kartoffel-Bau, und wenn alle diese Produkte nach Aussen verkauft werden, und die mineralischen Theile derselben nicht in Presslingen und Schlempe u. dergl. wieder auf die Felder gelangen, oder bei der Tabakkultur wird auch der Kaligehalt des Bodens sehr zurückgehen können. Wenn dann solche angreifende Kulturen zusammenfallen mit Länderstrecken, in denen in Folge ihrer einstigen Ablagerungsverhältnisse der Kalireichthum ein geringer ist, so werden auch die Kalidüngungen von Erfolg begleitet sein; allein Aehnliches wird auch statthaben können für andere im Boden enthaltene Pflanzennährstoffe, welche durchschnittlich in mehr als ausreichenden Mengen vorhanden sind, für Schwefelsäure, für Magnesia, für Kalk. In einzelnen, wie wohl noch seltneren Fälle wird sich auch hier die Zufuhr als nützlich erweisen: allein ein gewissenhafter Ersatz des Entnommenen, welche für den Stickstoff und Phosphorsäure noch am ehesten zweckdienlich erscheint, würde ganz allgemein vorgenommen noch weit mehr als in Bezug auf das Kali eine grosse Thorheit sein. — Soviel an dieser Stelle. Wir werden bald noch von einem ganz andern Standpunkte aus, auf allgemeine wirthschaftliche Betrachtungen gestüzt, die Ersatzfrage zu erläutern haben.

---

*) Auf moorigen Wiesen hat man nach den veröffentlichten Düngeberichten wohl im Ganzen die besten Erfahrungen gemacht.

**) Vergl. die Zusammenstellungen über Kalidüngungsversuche in dem Jahresber. für Agrik.-chemie z. B. des Jahres 1866. p. 279 u. 285, und die daraus gemachten Folgerungen des Berichterstatters auf p. 286.

***) Im Grossherzogth. Baden hat man z. B. fast ohne Ausnahme ganz schlechte Erfolge von der Kalidüngung gehabt, nicht blos wirthschaftlich, sondern physisch schlechte Erfolge.

Mit den Kalidüngern ist dann die Reihe der spezifischen Düngemittel geschlossen, denn obgleich noch eine Reihe von sehr einseitig zusammengesetzten Düngemitteln in sehr allgemeinem Gebrauch sind, Düngemittel, die sich durch ihren Gehalt an andern Pflanzennährstoffen auszeichnen, z. B. wesentlich aus Kalk bestehen oder sehr Schwefelsäure-reich sind, so ist doch die Düngewirkung dieser Stoffe hauptsächlich auf andere Ursachen zurückzuführen, als auf die direkte Ernährung der Pflanze durch diese Stoffe. Diese Substanzen werden dann in der nächsten Vorlesung als *indirekte Düngemittel* Behandlung finden.

Für heute bleibt uns nur noch übrig, von einer Gruppe von Düngemitteln zu sprechen, die wie zum grossen Theil auch die eben behandelten spezifischen Düngemittel in ihrem Ursprung Nichts mit Organismen zu thun haben, dennoch aber aus einem andern Grunde keine einseitig wirkenden Dünger sind. Es sind Dies die Düngestoffe, welche ihren Ursprung aus derselben Quelle herleiten, wie der Boden, auf dem die Pflanzen wachsen. Bei derartigen Düngemitteln ist der Gehalt an Pflanzennährstoffen und die Düngebefähigung einfach herzuleiten aus der Anpassung des Bedürfnisses der Gewächse an die zufällig gegebene Unterlage, von der wir schon mehrmals gesprochen haben.

Wir haben einige Düngemittel, welche strenggenommen in diese Gruppe gehören, bereits abgehandelt. Die als spezifische Kalidünger noch wenig angewendeten kalireichen Mineralien wie der Feldspath hätten naturgemäss auch einen Platz in dieser Kategorie finden können.

Die hiergehörigen Düngemittel, so weit sie nicht solche ausgelesene Mineralien sind, lassen sich wieder unter zwei Gesichtspunkte ordnen. Wir können Stoffe unterscheiden, die selbst an sich Nichts sind wie Bodenarten; — wir werden gleich sehen, unter welchen Umständen diesen eine düngende Wirkung zukommen kann. Daneben können wir Substanzen unterscheiden, welche durch das Wasser mit fortgeführt werden und deren düngende Wirkung ausgenutzt wird durch die Methoden der Ueberschwemmung, Berieselung und dergl.

Ein *erdartiges Material* kann natürlich nur als Dünger wirken, wenn seine Zusammensetzung abweichend ist von der des Bodens, auf den es in der Absicht einer Ertragserhöhung gebracht wird. Die Ursache einer solchen abweichenden Zusammensetzung kann aber eine sehr verschiedene sein. Sämmtliche einzelne Momente der Bodenbildung, die Kultur selbst mit den Abänderungen, die sie erzeugt, als solches hinzugezählt, können hinsichtlich dieses Unterschieds wirksam sein. Unter den natürlichen oder durch die Kultur in ihren Eigenschaften abgeänderten Böden finden sich desshalb eine Menge, welche eine sehr einseitige Zusammensetzung haben, deren zwei sich aber einiger Massen bezüglich derselben ergänzen würden.

Ein ursprünglicher Boden aus einem kalkarmen krystallinischen Gestein z. B. Gneis hervorgegangen, zeichnet sich häufig noch durch eine weit grössere Kalkarmuth als das darunter liegende Gestein aus, da sich bei der Kultur der Kalkgehalt eines Bodens (freilich nicht lediglich in Folge des mangelnden Ersatzes) ziemlich rasch zu vermindern pflegt. Nahe dabei liegt vielleicht ein geschichtetes Kalkgestein, dessen Hauptmasse aus dem dort fehlenden Stoffe besteht. Das Hinüberführen von Kalkboden auf den Gneisboden wird unter Umständen ausserordentliche Erfolge haben können und zeigt sich in sehr vielen Fällen als eine rentable Operation. Die Ur-

sache der Wirkung ist hier nicht blos der wirkliche Mangel an einem unentbehrlichen Nährstoffe; nebenbei kommen auch noch allerlei sekundäre Wirkungen der Kalksalze auf die Vorgänge in der Ackererde in Betracht, von denen wir in der nächsten Vorlesung zu sprechen haben werden.

Ein ganz ähnlicher, wenn auch in der Ursache sehr verschiedener Fall ist der, dass in einer Ackererde durch fortgesetzten Anbau ohne genügenden Ersatz die Fruchtbarkeitsbedingungen zerstört, tiefer liegende Schichten desselben Bodens aber von dieser nachtheiligen Veränderung unberührt geblieben sind. Bei dieser Lage der Dinge kann die Vermischung der verschiedenartigen Schichten durch einfaches Tieferpflügen vorgenommen werden, und diese landwirthschaftliche Manipulation wird in manchen Fällen auf einen solchen Gesichtspunkt zurückgeführt werden können*).

Weit häufiger jedoch ist es eine extreme physikalische Beschaffenheit von Bodenarten, welche zu einer Vermischung derselben drängt. Ein heller Boden wird zu wärmebedürftigen Kulturen mit dunklem Gesteinsschutt oder Moorerde überfahren, ein Boden arm an organischen Bestandtheilen mit dieser letzteren vermischt. Schwere Thonböden, welche feucht und kalt sind und der Bearbeitung ausserordentliche Schwierigkeiten entgegensetzen, mit an sich sehr unfruchtbarem Sande überfahren u. dergl. mehr. In allen diesen Fällen ist der Vortheil der Düngung leicht zu verstehen.

Schliesslich gehört auch die Benutzung von erdartigem Material als Einstreu hierher. Man kann ja selbstredend bei Benützung dieser Methode solche Erdarten auswählen, die zugleich auf den Feldern, wohin der Dünger gebracht wird, die eben erläuterten Wirkungen ausüben.

Um die Düngebefähigung von in Wasser *aufgeschwemmten oder gelösten Theilchen* zu verstehen, können wir uns ebenso auf früher gemachte Ausführungen berufen. Ich erinnere an die fünfundzwanzigste Vorlesung**), wo wir von der Verschwemmung der Verwitterungsmassen der Gesteine durch das bewegte Wasser gehandelt haben. Manche der hier zu erwähnenden Düngungsmethoden lassen sich geradezu auf das dort Gesagte zurückführen.

Wir hatten in den leicht aufschwemmbarsten thonigen Theilchen die zur Bildung eines fruchtbaren Bodens wichtigsten Elemente erkannt, weil sie der Sitz von einer ganzen Reihe der feuerfesten Pflanzennährstoffe sind. Die Marschländereien der Nordseeküste sind beispielsweise aus den Ablagerungen solcher aufschwemmbaren thonigen Elemente hervorgegangen. Denken wir uns nun über solche Kleyböden, welche durch fortgesetzten Anbau einen Theil ihrer Fruchtbarkeit verloren haben, von Neuem das Meer treten und die Bedingungen vorhanden zur Ablagerung jenes befruchtenden Schlammes, so haben wir eine Düngungsmethode, wie sie in dieser oder jener Form an vielen Orten gebräuchlich ist, und welche häufig alle andere Düngung unnöthig macht.

Man braucht den Namen *Aegypten* auszusprechen und seiner vieltausendjährigen Kultur zu gedenken, um den Erfolg einer derartigen Düngungsmethode, die

*) Obgleich in der Regel nach dauernder Kultur gerade die obersten Bodenschichten sich an den meisten Pflanzennährstoffen am Reichsten erweisen. Die Gründe hierfür sind unter Anderem in der neunundzwanzigsten Vorlesung gegeben worden, vergl. p. 106.

**) p. 33 u. f..

freilich dort weit mehr von der Natur als von Menschenhand besorgt wird, zu verstehen. Die gepriesene und immer wieder neu verjüngte Fruchtbarkeit des Nildeltas rührt bekanntlich von den Schlammablagerungen her, die der Nil auf seinem weiten Ueberschwemmungsgebiete alljährlich macht. Der Nilschlamm besteht aus jenen leichtaufschwemmbaren thonigen Theilchen, die wir uns als aus den im obern Lauf dieses Flusses (vermuthlich aus der abessinischen Sumpfwaldregion) mit fortgerissenen Verwitterungsmassen und erdartigem Materiale hervorgehend denken müssen. Analysen desselben haben ergeben:

	Frisch abgelagerter Schlamm *) *von 1858* (Peters).		*Nilschlamm* **) *von Theben* (Wicke).	
Kieselsäure	0,41 %	in Salzsäure löslich ***)	12,1 %	
Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxyd	8,80	in Salzsäure löslich ***)	26,3	in verdünnter Salzsäure löslich
Kalk	1,73	in Salzsäure löslich ***)	1,82	in verdünnter Salzsäure löslich
Magnesia	0,05	in Salzsäure löslich ***)	2,27	in verdünnter Salzsäure löslich
Kali	0,17	in Salzsäure löslich ***)	0,69	in verdünnter Salzsäure löslich
Natron	0,02	in Salzsäure löslich ***)	1,28	in verdünnter Salzsäure löslich
Phosphorsäure	0,14	in Salzsäure löslich ***)	1,07	in verdünnter Salzsäure löslich
Schwefelsäure	0,07	in Salzsäure löslich ***)	—	

			Im Durchschnitt von 8 Sorten †).		
Kieselsäure	—	Gesammtgehalt	54,6 %	38,9 %	
Thonerde	—	Gesammtgehalt	11,7	17,7	Gesammtgehalt
Eisenoxyd	—	Gesammtgehalt	20,2	21,1	Gesammtgehalt
Kalk	6,46	Gesammtgehalt	4,0	2,75	Gesammtgehalt
Magnesia	—	Gesammtgehalt	0,8	3,20	Gesammtgehalt
Kali	1,64	Gesammtgehalt	0,5	1,24	Gesammtgehalt
Natron	0,56	Gesammtgehalt	0,6	3,41	Gesammtgehalt

In dem von Peters untersuchten Schlamm waren 0,08 % organische Stoffe und 0,06 % Stickstoff ††) durch kaltes Wasser ausziehbar.

So Verschiedenartiges die gewählten Nilschlammanalysen auch anzeigen und wie klar sie demonstriren, dass der an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten

*) Vergl. Jahresber. der Agrik.-chemie. 1860 – 61. p. 39.

**) Vergl. Jahresber. der Agrik.-chemie. 1864 p. 44. Weitere Nilschlammanalysen zusammengestellt bei Mulder: Die Chemie der Ackerkrume I. p. 171 – 175.

***) Der Gehalt an mineralischen Stoffen im wässrigen Auszug, der zu dem in Salzsäure löslichen eigentlich hinzugerechnet werden müsste, ist so gering (0.064 %), dass seine Vernachlässigung bei den mitgetheilten Zahlen Nichts zu bedeuten hat.

†) Vergl. Hörner: Pharm. Centralbl. 1852. p. 152, ausserdem Chem. Ackersmann. 1860. p. 98.

††) Die Analyse des Nilschlamms von Payen u. Poinsot (Journ. d. Pharm. et de Chimie (3) T. 17. 1850. p. 48) verdient sehr wenig Zutrauen, weil sie keine Phosphorsäure ergab, die von Lajonchère (Jahresber. f. Chemie 1850. p. 646) ist viel zu wenig detailirt, ähnelt indessen, wie es den Anschein hat, etwas der von Wicke; die Moser'sche Analyse endlich berücksichtigt auch zu wenig den Gehalt an Kali und Phosphorsäure (vgl. Jahresber. d. Chemie 1856. p. 911), gibt aber eine geringe Menge von Stickstoff (0,06 %) an.

abgelagerte Schlamm eine sehr abweichende Zusammensetzung haben kann, so ist doch ersichtlich, dass man es mit einem Produkte zu thun hat, dessen leichtlöslicher Theil reich an Kali und Phosphorsäure ist. Dazu kommt der constatirte immerhin beträchtliche Stickstoffgehalt, der wie Peter's Analyse ergibt, theilweise auf Ammoniak, theilweise auf Salpetersäure zurückgeführt werden, zum Theil aber auch als in organischen Substanzen vorhanden gedacht werden muss. Die Anwesenheit von organischen Substanzen aber beweist, dass wir es im Nilschlamm nicht mit einem rein mineralischen Trümmermaterial zu thun haben, sondern dass ihm Reste von Organismen beigemischt sind*). So erklärt sich denn auch der Stickstoffgehalt, welcher in einem rein mineralischen Produkt kein erheblicher hätte sein können, und so ist denn auch in dieser Hinsicht die Fruchtbarkeit der auf solche Weise gebildeten Ablagerungen durchaus begreiflich.

Dass natürlich auf Ländereien, denen alljährlich solche Schlammmassen von Neuem zugeführt wurden, welche in ihrer Zusammensetzung dem Bedürfniss der Pflanzen völlig genügen, andere Düngungsmethoden entbehrlich erscheinen, versteht sich durchaus von selbst. An solchen Orten wird gleichsam immer neuer Boden durch die Kultur in Angriff genommen, und die verminderte Produktionskraft des alten wird aus diesem Grund nicht empfunden. Der günstige Umstand dabei ist, dass die tiefern unfruchtbarer gewordenen Bodenschichten zugleich auch jener wichtigen Vegetationsbedingung, welche allein den *Ort der Pflanzenproduktion* bestimmt, dem atmosphärischen Lichte entrückt werden; wäre Dies nicht der Fall, so müsste auch in diesem Falle Düngung stattfinden.

Natürlich ist von der Ueberschwemmungskultur anderer Gegenden genau Dasselbe zu sagen wie von der aegyptischen, wenn die Erfolge auch nicht immer im gleichen Masse ausgezeichnete sind. Je nach der Gebirgsart, von der die aufgeschwemmten Schlammmassen**) stammen, je nach der Vermischung derselben mit organischen stickstoffhaltigen Resten und je nach der Ruhe des Wassers, aus der die Ablagerung erfolgte u. s. w., kann und muss der Effekt ein sehr verschiedener sein, und ist eine solche Kulturmethode als eine vortheilhafte oder nachtheilige zu bezeichnen.

Eine andere Düngungsform, welche sich ganz enge an diese eigentliche Schlammkultur anschliesst, sind schliesslich die Wässerungsmethoden***), wie sie in Europa vorzüglich zur Wiesenkultur in Anwendung sind. Es kann freilich keinem Zweifel unterliegen, dass überall, wo jene Wässerungsmethoden gehandhabt werden, die „be-

---

*) Ehrenberg nimmt 5—10% Infusorienreste im Nilschlamm an. — In so weit die Schlammmassen Organismenreste in sich enthalten, nähern sie sich natürlich anderen früher behandelten Gruppen von Düngemitteln, und auch hieraus ist wieder ersichtlich, dass es unmöglich ist, scharfe Grenzen zu ziehen, da eben in der Natur allerorts Uebergänge existiren.

**) Es gibt Schlammarten, die sich Nichts weniger als zur Bodenverbesserung oder nur in einzelnen Fällen hierzu eignen, wie aus der praktischen Erfahrung und aus den vielfach vorhandenen Schlammanalysen hervorgeht.

***) Dass alle Methoden der Wässerung dem Pflanzenwachsthum noch ganz andere Vortheile als die einer Düngung (z. B. in heissen Ländern vorzüglich die der Wasserzufuhr, in kälteren Ländern häufig die der Erwärmung) bringen, darf natürlich nicht übersehen werden, wenn es uns auch versagt bleiben muss, auf diese Punkte näher einzugehen.

fruchtende Wirkung" des Wassers als solche eine hervorragende Rolle spielt und häufig ganz allein für den Erfolg in Betracht kommt; allein gerade auf den Wässerwiesen Mitteleuropas tritt neben jener zuerst in's Auge fallenden Wirksamkeit eine andere, die als „düngende Wirkung" bezeichnet zu werden pflegt, ganz handgreiflich hervor.

In der Theorie des in Rede stehenden Verfahrens wird gewöhnlich den im Rieselwasser aufgelösten Stoffen neben den suspendirten Schlammtheilchen, welche letzteren sich fast nach allen gebräuchlichen Bewässerungs-Systemen auf der Grasnarbe ablagern und so zur Bodenerneuerung dienen müssen, ein erheblicher Antheil an den beobachteten Erfolgen zugeschrieben. Es ist indessen, da der berührte Gegenstand noch keinerlei experimentelle Bearbeitung gefunden gerade aus theoretischen Gesichtspunkten einiger Massen zweifelhaft, ob diese Annahme einige Berechtigung hat. Wenn man nemlich die kurzen Perioden berücksichtigt, in denen an den meisten Orten die Berieselung stattfindet, so wird man selbst die aus einem an gelösten Stoffen reichen Wasser durch die (von demselben umspühlten) Pflanzenwurzel direkt zu assimilirenden Nährstoffe nur sehr gering veranschlagen dürfen.

Man gibt sich nun allerdings häufig in Bezug auf jene im Wässerungswasser gelösten Pflanzennährstoffe der Vorstellung hin, als ob dieselben in Folge der Absorptionskräfte des berieselten Bodens sehr vollständig festgehalten werden müssten, und unterlässt dabei ganz und gar, an die Relativität der Absorptionsfähigkeit zu denken. Es ist unstreitig eine Folge der am betreffenden Orte*) gerügten einseitigen Auffassungs- und Ausdrucksweise jener Erscheinungen, dass eine solche Vorstellung Platz greifen konnte, und ich begnüge mich an dieser Stelle, auf das dort Gesagte zu verweisen, und erinnere nur daran, dass die Grösse der Absorption von der Verdünnung der aufgegebenen Lösung abhängig ist, dass reines Wasser absorbirte Stoffe wiederum in Lösung bringt. Berücksichtigt man Dies, so muss man sich sagen, dass es ganz und gar von dem Reichthum eines Bodens an absorbirten Pflanzennährstoffen und der Verdünnung des mit ihm in Berührung kommenden Rieselwassers abhängen muss, ob Absorption oder gerade umgekehrt Auslaugung schon vorhandener Stoffe stattfinden wird**). Es ist nun freilich theoretisch nicht abzusehen, für welchen Bodenreichthum und für welchen Gehalt des Rieselwassers das Eine oder das Andere eintreten muss; allein es ist wichtig zu betonen, dass hier tiefgreifende Gesetzmässigkeiten ganz unbeachtet geblieben sind, deren Erörterung vielleicht auch einige praktische Vortheile versprechen würde, und vielleicht kann auch im Allgemeinen gesagt werden, dass unter den gewöhnlich herrschenden Verhältnissen wahrscheinlich in Bezug auf die meisten Pflanzennährstoffe keine Bereicherung des Bodens auf Kosten von jenen gelösten Bestandtheilen stattfindet. Experimentelle Untersuchungen über den Gehalt der Rieselwässer und der Drainwässer eines und desselben Terrains an einzelnen Bestandtheilen würden sehr bald in der gewünschten Richtung Aufschluss verschaffen***).

---

*) Vergl. die achtundzwanzigste und neunundzwanzigste Vorlesung.

**) Dieselbe Anschauung auch bei H. Thiel (Annal. des Landw. Wochenbl. 1870. p. 199); die dort mitgetheilten Analysen vermögen indessen gerade in Betracht der wichtigsten Pflanzennährstoffe Nichts zu entscheiden.

***) Auf meine Anregung hin sind nunmehr solche Versuche unternommen worden.

Ganz anders freilich gestaltet sich die Sache, wenn man es nicht mit Bewässerungswasser rein mineralischen Ursprungs sondern mit Abwässern, sei es nun dem Kanalwasser aus Städten, das zur Fortspühlung der menschlichen Auswurfstoffe benutzt wurde, oder den mit organischen Substanzen beladenen Abwässern technischer Etablissements zu thun hat. Diese Flüssigkeiten pflegen ungleich reichhaltiger zu sein an absorbirbaren Pflanzennährstoffen, als jene Bach- und Flusswässer, die wir vorhin in erster Linie im Auge gehabt haben, und in Folge dessen wird man auch bei ihnen eher ausser der blossen Schlammablagerung eine Festhaltung der fortgeführten Substanzen durch den Boden erwarten können, ganz abgesehen von der direkten Aufnahme durch die Pflanze, da wo bei hoher Temperatur des Berieselungswasser fast unausgesetzt die Berieselung fortgesetzt wird. Im ersteren Falle dagegen wird häufig der ganze Nutzen, auf Anfeuchtung und Schlammablagerungen zu setzen sein.

Es hat keinen Zweck die eben angedeuteten zum Theil ausserordentlich wichtigen Düngungsmethoden bis in ihre praktischen Einzelheiten zu verfolgen, denn wir würden damit wiederum ein Gebiet betreten, das einer theoretischen Behandlungsweise fast ganz und gar unzugänglich ist, und auf dem es erst sehr unvollkommen gelingt, die in Uebung befindlichen Manipulationen aus den von uns erkannten Gesetzmässigkeiten der Pflanzenernährung herzuleiten. Auch in dieser Hinsicht muss also auf die Werke über praktische Landwirthschaft verwiesen werden.

Achtunddreissigste Vorlesung.

Die indirekt wirkenden Düngemittel.

In letzter Linie bleiben endlich die sogenannten *indirekt wirkenden Düngemittel* zu betrachten übrig. Man bezeichnet als solche ausschliesslich Stoffe, welche nicht fähig sind, die Pflanzen direkt zu ernähren, aber doch eine Ertragssteigerung hervorzubringen vermögen, oder denen wenigstens ausser einer direkten Wirkung noch eine indirekt nützliche Wirkung zukommt.

Es ist nach dieser Definition klar, dass auch die physikalisch wirkenden Stoffe, deren wir eine ganze Reihe schon gelegentlich erwähnt haben, strenggenommen als indirekt wirkende zu bezeichnen wären; allein man hat sich gewöhnt, vorzugsweise solche Düngemittel mit diesem Namen zu belegen, welche auf den ersten Anblick den wirklichen Pflanzennährstoffen sehr ähnlich sehen, vielleicht auch vor einer genauen Bekanntschaft mit dem Stoffbedarf der Pflanzen für solche angesehen wurden, und für die sich die indirekte Wirksamkeit erst ergab, als man experimentell festgestellt hatte, dass die betreffenden Substanzen überhaupt nicht oder wenigstens nicht in solchen Mengen pflanzliche Nährstoffe seien.

Die Humusstoffe, die ja häufig im Torf als Düngemittel Verwendung finden, mögen unseren Kulturpflanzen gegenüber als ein schlagendes Beispiel dieses Verhal-

tens genannt werden. Die Wirksamkeit verwesender pflanzlicher Stoffe im Boden war schon frühe festgestellt. Lange glaubte man. nur gestützt auf die oberflächliche Betrachtung des Sachverhalts, sich berechtigt, diese Stoffe als die direkte Pflanzennahrung ansehen zu dürfen. Später lehrte die exakte Forschung, dass dieselben Dies nicht oder wenigstens nicht in sehr erheblichem Grade seien; man suchte und fand andere Ursachen der Wirksamkeit, die theilweise auf physikalische Eigenschaften jener Substanzen, aber doch im Wesentlichen auf deren Fähigkeit, wirkliche Nährstoffe durch weitere Zersetzung zu erzeugen, zurückgeführt werden konnten. Wir haben diesen Fall einer indirekten Düngebefähigung in früheren Vorlesungen genugsam beleuchtet.

Man wird nun aber einsehen, dass im einzelnen Falle die Ursache jener indirekten Wirkung eine äusserst mannigfaltige sein kann, und dass es um so schwieriger gewesen sein muss, eine haltbare Theorie für dieselbe aufzustellen, je mehr Kenntnisse von der Constitution der Ackererde und von den Gesetzen der Stoffaufnahme das Verständniss jener voraussetzte. Das Studium dieser Dinge ist aber ein so neues und noch so wenig abgeschlossenes, dass — wie wir sogleich nur zu deutlich erkennen werden — manchmal für die Ursache der Wirksamkeit eines Düngemittels nur Vermuthungen ausgesprochen werden können, dass eine Theorie derselben gegeben wird, welche die Sache zwar nothdürftig erklärt, aber dieselbe in keiner Weise mit Nothwendigkeit voraussehen liess. Wir haben es dann mit einem der vielen Fälle in der landwirthschaftlichen Technik zu thun, wo die Theorie nicht mit der Praxis Hand in Hand geht oder gar derselben mit der Fackel der Wissenschaft voranleuchtet, sondern wo sie dieser mit Mühe nachhinkt, unfähig, ihr zur Zeit den geringsten Nutzen zu bringen.

Gerade solche Düngemittel nun, für welche die indirekte Ursache der Wirksamkeit schwierig einzusehen war, konnten verhältnissmässig lange für wirkliche Pflanzennährstoffe gelten, und als man schliesslich erkannte, dass sie solche nicht seien oder nicht als solche wirkten, da war man gerade geneigt, sie in einer besonderen Klasse unterzubringen. So erklärt sich die Benennung einer ziemlich kleinen Anzahl von wirksamen Stoffen als indirekte Düngemittel.

Diese kleine Anzahl von Stoffen ist es aber, deren Wirkungsweise uns vorzüglich in der heutigen Vorlesung beschäftigen wird, da die indirekte Wirksamkeit anderer Düngemittel entweder ganz auf der Hand liegt, oder schon an früheren Orten ihre Erledigung gefunden hat. Wir werden in Folge dessen die indirekte Wirksamkeit von Düngemitteln, so weit sie sich auf physikalische Eigenschaften, die dem Boden ertheilt werden, beziehen und ebenso diejenige, welche auf Erzeugung von pflanzlichen Nährstoffen durch chemische Umsetzungen aus dem Düngemittel heraus zurückgeführt werden können, hier nicht mehr weiter beachten.

Die noch übrig bleibenden indirekten Wirkungsweisen, von denen wir uns bis jetzt eine deutliche Vorstellung machen können, sind: die Ueberführung ungelöster Pflanzennährstoffe in Lösung, wodurch sie der Pflanzenwurzel leichter zugänglich werden, die Veranlassung einiger anderen nützlichen Reaktionen im Boden, welche sehr verschiedenartiger Natur sein können, und schliesslich der direkte Einfluss auf die Aufnahme gelöster Stoffe durch die Pflanze. Es ist aber kein Zweifel, dass sich deren noch mehrere ergeben werden, wenn unsere Studien über die Reaktionen in der Acker-

erde und die Vorgänge im Pflanzenleibe einmal vollständigere sind. Einige der eben aufgestellten Gesichtspunkte, unter welche wir die hierhergehörigen Erscheinungen zu ordnen suchen werden, hat man schon seit lange geltend gemacht, dem letzten ist bisher keine genügende Beachtung geschenkt worden.

Die Ueberführung ungelöster Pflanzennährstoffe in Lösung, wodurch dieselben der Pflanze zugänglich gemacht werden, lässt sich wieder auf verschiedenartige Wirkungen zurückführen. Die Fähigkeit zu lösen kann dem hinzugebrachten Stoffe als solchem zukommen, und eine ganze Reihe von Düngemitteln hat neben ihrer direkten Wirkung als Nährstoff diese Fähigkeit, welche in manchen Fällen sehr in Betracht kommen mag. Ich erinnere an die Kohlensäure, welche neben ihrer Fähigkeit, der Pflanze direkt als Nährstoff zu dienen, diese andere auf Phosphate und Silicate ausübt. Eine ganz ähnliche indirekte Wirksamkeit kommt den salpetersauren Salzen und Ammoniakverbindungen zu, und von einer Seite her war man sehr geneigt*), hierin gerade die Hauptursache der Düngebefähigung jener Stoffe zu sehen; es kann aber heute keinem Zweifel unterliegen, dass wir diese Wirkung nur als Etwas Nebensächliches und wenigstens unter gewöhnlichen Umständen die Stickstofflieferung als die Hauptsache anzusehen haben.

Es sind indessen keine Düngemittel im Gebrauch, deren Wirksamkeit sich vorzugsweise oder ausschliesslich aus dieser Eigenschaft erklären liesse.

Eine viel bedeutendere Rolle spielt bei der indirekt düngenden Wirkung einiger hier zu besprechenden Stoffe eine ganz andere Art der Ueberführung von Pflanzennährstoffen in Lösung, welche erst durch das eingehende Studium der Absorptionserscheinungen der Ackererde in das rechte Licht gesetzt worden ist. Ich muss, um dieselbe deutlich zu machen, an gewisse bei der Besprechung dieser Erscheinungen gemachte Ausführungen erinnern, aus denen sich eine derartige Wirkung mancher Stoffe klar ergibt. Wir haben dort gesehen**), dass sich die Absorptionserscheinungen im Wesentlichen auf einen (zwar noch nicht ganz klargelegten) Chemismus zurückführen lassen und dass dabei deutlich Massenwirkungen zu Tage treten. Auf diesem letzteren beruht es im Wesentlichen, dass es gelingt, ungelöste absorbirte Stoffe durch andere Stoffe, die dann für jene Absorption erleiden, in Freiheit zu setzen und in Lösung zu bringen. Dies Verhalten tritt besonders bei den Basen ganz deutlich zu Tage. Wenn man eine gewöhnliche Ackererde mit gelösten Kalisalzen in Berührung bringt, so erleidet ein Theil des Kalis Absorption; man findet dann statt dieses Kalis z. B. Kalk und Magnesia in ungefähr äquivalenten Verhältnissen und an die Säure des Kalisalzes gebunden in der Bodenlösung vor. Allein wenn man nun umgekehrt zu dieser so veränderten Ackererde wieder ein gelöstes Kalksalz in grösseren Mengen hinzugefügt, oder wenn man Dasselbe mit der ursprünglichen Erde vornimmt, so tritt genau das Umgekehrte, wenn auch nicht in demselben Grade ein, — Kali und einige andere Basen treten durch chemische Wechselzersetzung in die Lösung über, und ein Theil des Kalkes verschwindet aus derselben.

---

*) Liebig hat besonders diese Seite hervorgehoben (vergl. Annal. der Chem. u. Pharm. B. 106. p. 185), weil ihm nach seinen damaligen Anschauungen die direkte Wirksamkeit unwahrscheinlich däuchte.

**) Neunundzwanzigste Vorlesung.

Ganz dieselben Wirkungen dürfen wir natürlich von den meisten Düngestoffen erwarten, welche auf eine Ackererde von gewöhnlicher Beschaffenheit, die also Basen im absorbirten Zustande enthält, gebracht werden. Es werden in Folge des Hinzubringens neuer Salze die Zusammensetzungen der Bodenlösungen in ganz anderer Weise geändert, als wenn diese Salze in einem indifferenten festen Medium den Lösungen einverleibt worden wären. Man kann also sagen — immer als selbstverständlich vorausgesetzt, dass die in Lösungen vorhandenen Stoffe der Pflanze zugänglicher sind, als die im absorbtiv gebundenen Zustande —, dass eine Düngung mit einem Kalksalz, zugleich eine Düngung mit Kali, mit Ammoniak u. s. w. ist*). Dieselbe Ursache also, die es bewirkt, dass eine Kalidüngung sich in ihrer Wirkung über eine grosse Periode vertheilt, da Anfangs Lösungen anderer Salze neben Kalilösungen entstehen und ein Theil des Kalis absorbtiv gebunden zurückgehalten wird, ist es auch, die eine Kalksalz- eine Magnesiasalz-Düngung wie eine Kalidüngung oder auch wie eine Ammoniakdüngung wirken lässt. Wir werden nachher bei einigen der vorzüglichsten indirekt wirkenden Düngemitteln sehen, dass mit Wahrscheinlichkeit ein Theil der Wirkung sich auf diesen Gesichtspunkt zurückführen lässt**).

Allein bei dem geschilderten Verhalten ist noch ganz besonders auf einen Umstand aufmerksam zu machen, der die Sachlage noch wesentlich modificirt. Man muss nemlich berücksichtigen, dass die in Lösung übergeführten Stoffe nun in andere Bodenschichten sich verbreiten können, und dass je nach der eigenthümlichen Bewurzelung der Gewächse dadurch eine für die Zweckdienlichkeit der Ernährung ganz entscheidende Veränderung bewirkt werden kann. Nach den gewöhnlichen Methoden der Düngung werden die Nährstoffe ganz einseitig den obersten Bodenschichten einverleibt und bleiben dort in Folge des Absorptionsvermögens und trotz der Auswaschung durch Regen, wie vergleichende Analysen der verschiedenen Schichten einer angebauten Ackererde beweisen, ziemlich vollständig localisirt. Werden nun aber Stoffe hinzugebracht, die jene anderen werthvolleren Düngebestandtheile aus ihrem absorbirten Zustande durch chemische Wechselwirkung verdrängen, so wird Dies für dieselbe genau so wirken, wie ein sonst die Absorption schwächendes Agens z. B eine grössere Wassermenge; in die Bodenlösung wird wieder eine gewisse Menge von jenen Düngebestandtheilen übergeführt, und da die Lösungen im Boden circuliren, so werden auf diese Weise nun auch die untern Bodenschichten Etwas von der verabreichten Düngung mitbekommen, was natürlich für die Ernährung mancher tiefwurzelnden Gewächse von entscheidendem Erfolg sein kann. Man kann sich mit einem Worte so ausdrücken, dass die Stoffe, welchen jene beschriebene Wirkung zukommt, für die substituirten Nährstoffe *delocalisirend* wirken, und man wird einsehen, dass eine derartige Wirkung, je nach dem Düngungsstand eines Feldes, nach der Kultur, die man gerade vornimmt, von Nutzen sein kann. Wenigstens nimmt man sehr allgemein an, dass die Wirksamkeit einiger Düngemittel sich aus dem eben geschilderten Verhalten erkläre.

---

*) Von Mulder ist Dies mit Recht hervorgehoben worden (vergl. die Chemie der Ackerkrume III. p. 17).

**) Auch Eichhorn hat frühzeitig (vergl. Jahresber. f. Agrik.-chem. 1859—60. p. 20) hierauf hingewiesen.

Weiter ist eine Behandlung indirekter Düngewirkungen, ohne auf ganz spezielle Verhältnisse einzugehen, für die Befähigung gewisser Substanzen, eine Aenderung in den Verhältnissen der Stoffaufnahme durch die Pflanzen zu veranlassen, möglich. Auch hier wieder können wir auf früher Gesagtes verweisen. — Als wir von den Gesetzen der Stoffaufnahme sprachen*), haben wir mit besonderem Nachdruck, die bei Prüfung der de Saussure'schen Resultate von W. Wolf aufgefundenen Gesetzmässigkeiten hervorgehoben. Dieselben sagten aus, dass die Aufnahme irgend eines mineralischen Nährstoffes durch die Pflanze in der Intensität sehr wesentlich gesteigert werden kann durch die gleichzeitige Anwesenheit eines andern. Wenn wir nun auch damals wahrscheinlich gemacht haben, dass diese eigenthümliche Wirkung wohl nur zurückgeführt werden darf, auf das nothwendige Ineinandergreifen der einzelnen physiologischen Processe, zu denen die verschiedenen Nährstoffe mitwirken, durch welche diese verändert werden, und die desshalb die Veranlassung zu einer neuen Stoffaufnahme sind, und wenn es darnach auch unwahrscheinlich erscheinen dürfte, dass irgend eine Substanz den Uebergang einer andern in die Pflanze auch noch bei einer an sich schon gleichmässigen Ernährung erleichtere, so ist es doch auffallend, dass das geschilderte Verhalten für die Theorie der Wirkung mancher Hülfsdüngemittel noch gar keine Verwendung gefunden hat. Einer Beachtung wäre dasselbe doch sicherlich werth gewesen. Wir werden die Möglichkeit der Verwerthung dieser Vorgänge für die Theorie der Wirksamkeit eines wichtigen Hülfdüngemittels sogleich zu besprechen haben.

Soviel mochte von Betrachtungen ganz allgemeiner Natur vorausgeschickt werden, und nun wollen wir es erst unternehmen, einzelne Düngemittel speziell in's Auge zu fassen.

Zunächst ist der *Gyps* ein Düngemittel, dessen Befähigung, Mehrerträge**) zu bewirken, theilweise auf solch' indirekte Weise***), wiewohl vielleicht aus mehreren Gesichtspunkten erklärt werden muss. Obgleich der Gyps, dessen Anwendung in der Landwirthschaft eine sehr alte †) ist, im Wesentlichen aus zwei Pflanzennährstoffen besteht, aus Schwefelsäure und Kalkerde, und sonach die Erklärung von dessen Düngebefähigung aus seinem Gehalt an diesen Pflanzennährstoffen am Allernatürlichsten erscheint, so geht doch das Urtheil fast aller Sachverständigen dahin, dass hierin wenigstens nicht allein die Ursache der beobachteten Wirkung liegen könne. Man ist zu einem solchen Urtheil desshalb völlig berechtigt, weil man den Gyps in Böden eine Wirkung vollbringen sieht, welche durchaus nicht arm an den betreffenden Pflanzennährstoffen sind. Es liegt nun zwar nahe, auch hier wieder die bei der

---

*) Erster Theil, einundzwanzigste Vorlesung p. 353.

**) Diese Mehrerträge sind in den meisten Fällen solche an organischer Substanz und lassen sich nicht blos, wie aus einzelnen Düngungsversuchen hervorzugehen scheint und wie von einigen Seiten behauptet wird, auf den grösseren Wassergehalt der nach Gypsdüngung erzielten Pflanzenmasse zurückführen.

***) Eine Zeit lang (im vorigen Jahrhundert) hat man bekanntlich den Gyps als Universaldüngemittel empfohlen und ihn statt des Stallmistes zu verwenden vorgeschlagen.

†) Bereits in der Römerzeit und selbst von den Griechen soll der Gyps zum Düngen Verwendung gefunden haben (vergl. Hulwa: Landw. Centralbl. 1863. p. 420). Daselbst auch sonst Angaben über die Geschichte der Gypsdüngung.

Mangelhaftigkeit der Bodenanalyse so natürliche Unterstellung zu machen, der wir früher namentlich in Bezug auf Phosphorsäure und Stickstoff mehrfach begegnet sind, — die Unterstellung, dass der schon vorhandene Kalk und die vorhandene Schwefelsäure in nicht verfügbarem Zustande überall da vorhanden gewesen sein könnten, wo der Gyps eine Düngewirkung hervorgebracht habe; allein bei näherer Beleuchtung erweist sich dieser Einwurf als wenig stichhaltig, denn man hat in vielen Fällen gar keine Vermehrung jener Bestandtheile in den geernteten Pflanzen — was als ein ziemliches sicheres Merkzeichen für einen ausgeglichenen Mangel gelten kann — wahrgenommen, ganz abgesehen davon, dass der natürliche Gehalt des Bodens an den im Gypse enthaltenen Stoffen ein zu bedeutender war, und diese als zu leicht löslich sich erwiesen, um jene Erklärungsweise als zulässig erscheinen zu lassen.

So einig man nun im Allgemeinen*) darüber mit sich war, dass der Gyps nicht lediglich durch seinen Gehalt an Pflanzennährstoffen wirksam sei, so verschieden zeigten sich die Meinungen in Bezug auf die Art und Weise der indirekten Wirksamkeit. Liebig**) hatte seiner Zeit eine Theorie der düngenden Wirkung des Gypses aufgestellt, die sich einige Zeit lang einer beinahe allgemeinen Anerkennung erfreute, später aber ziemlich vollständig von anderen Theorien verdrängt worden ist. Die Liebig'sche Theorie stützte sich auf die Eigenschaft des Gypses, welche wir bei Besprechung desselben als Desinfektions- und Conservirungs-Mittel für die verschiedenen Mistarten kennen gelernt haben, auf dessen Wechselzersetzung mit kohlensaurem Ammoniak, wodurch dieses zu schwefelsaurem Ammoniak wird und seine Flüchtigkeit einbüsst. In der gegypsten Ackererde soll nun diese Reaktion von besonderer Wichtigkeit werden, weil auf diese Weise der gebundene atmosphärische Stickstoff in erhöhtem Grade zur Pflanzenproduktion herangezogen werden kann. Das kohlensaure Ammoniak, was mit dem Regenwasser auf die Ackererde gelangt, soll sogleich seiner Flüchtigkeit dadurch beraubt werden, dass es sich mit Gyps zu schwefelsaurem Ammoniak und zu kohlensaurem Kalke umsetzt, während im anderen Falle ein kleiner Antheil wieder durch Abdunstung verloren gegangen sein würde***).

Es ist indessen mehr als fraglich, ob wir dieser Vorstellung Raum verstatten dürfen. Der Gyps mag immerhin — und diese Wirksamkeit ist durch experimentelle Belege hinreichend verbürgt — die erheblichen Mengen von Ammoniak, welche bei der Verwesung stickstoffreicher organischer Stoffe in flüchtiger Form frei werden, binden, und in dieser Eigenschaft ist ihm natürlich ein Nutzen nicht abzusprechen, wenn er mit Mist oder Abtrittsdünger gleichzeitig dem Boden einverleibt wird, oder in eine Ackererde gelangt, welche solche verwesende stickstoffhaltige Substanzen bereits in erheblichen Mengen enthält. Wir haben ja selbst diesen offen-

---

*) Vergl. übrigens die Ansichten Chaptal's und einiger Neueren: ebenda p. 426 u. f.

**) Die betreffende Anschauung wurde zuerst von Spazier (J. f. pr. Chemie 1831. II. p. 89) ausgesprochen; und dann hat Liebig die betreffende Theorie (die Chemie u. s. w. 1843. p 71) der Düngewirkung des Gypses entwickelt.

***) Doch betont auch Liebig (wie Spazier ausschliesslich) neben der Wirksamkeit des Gypses auf das atmosphärische kohlensaure Ammoniak die auf das in dem Stalldünger enthaltene ganz ausdrücklich.

baren Nutzen schon ausdrücklich anerkannt. Allein, ob das sehr verdünnte Ammoniak des Regenwassers in einer Ackererde, welche eine Menge von Substanzen enthält, die sich mit demselben zu verbinden und es festzuhalten geneigt sind, noch wieder durch Verdunstung verloren gehen kann, die Frage muss wahrscheinlich verneint werden*); jedenfalls lässt sich aber auf die unsichere Beantwortung derselben keine Theorie stützen. Es ist weiter der Umstand zu erwähnen, dass sich gerade für solche Pflanzen, die auch auf stickstoffarmem Boden (vermuthlich durch Assimilation von kohlensaurem Ammoniak durch die Blätter) grosse Mengen von stickstoffhaltiger organischer Substanz hervorzubringen vermögen, die also in Bezug auf ihre Stickstoffassimilation am Allerwenigsten auf eine Unterstützung von Aussen angewiesen sind, nemlich für Klee die Gypsdüngung als von dem grössten Erfolge begleitet erwiesen hat. Diese Theorie hat daher wenig Aussicht, noch einst zur Erklärung der Dünge-befähigung des Gypses beizutragen.

Von weit hervorragender, vielleicht von der hervorragendsten Bedeutung für diese Erklärung ist eine andere Theorie, deren Umrisse schon in den bereits gegebenen allgemeineren Ausführungen enthalten sind. Der *Gyps* ist ein lösliches Kalksalz und vermag als solches auf andere Basen, welche sich im absorbirten Zustande in der Ackererde befinden, in der Weise einzuwirken, dass diese an seine Säure gebunden in Lösung gehen, während ein Theil des Kalkes dafür in jene unlösliche Form übergeht, aus der er die Basen verdrängt hat.**)

Der Erfolg dieses Vorgangs ist ein doppelter. Die Bodenlösung wird einmal reicher an einem in der Ackererde nur in sehr zurücktretenden Mengen vorhandenen Nährstoffe, der von den Pflanzen aber in grossen Mengen aufgenommen wird, an Kali, und die Gypsdüngung wirkt also, wenigstens in jedem Boden, in welchem die „zeolithartigen Theile“ reich sind an Kali, und in welchem man diesen Stoff noch nicht ganz auf diese Weise aus dem leichtzersetzbaren Zustande ausgetrieben hat, wie eine Kalidüngung, ein Umstand, der für eine stark kalibedürftige Pflanze natürlich von Wichtigkeit ist.

Allein die Bodenlösung verbreitet sich nun auch und bespühlt neue Erdtheile mit den in ihr nun enthaltenen Stoffen, während diese sonst localisirt geblieben wären, sie führt tiefwurzelnden Gewächsen einen Theil der den oberen Bodenschichten einverleibten Düngestoffe, unter Anderem auch hier wieder Kali zu, in der Weise, wie wir es vorhin ganz allgemein beschrieben haben.***) Diese Anschauung wird besonders für den tiefwurzelnden Klee unterstützt, weil man denselben in sehr vielen Fällen nach Gypsdüngung kalireicher gefunden hat.†) Indessen zeigen die Versuche von Kreuzhage,††) dass eine Düngung mit Kalisalzen in einem Falle doch nicht das

*) Vergl. hierüber Schulze: Chemie f. Landwirthe 1846. I. p. 261, und namentlich die Boussingault'schen Entgegnungen.

**) Auf diese Möglichkeit deutlich aufmerksam gemacht zu haben, ist Peters' Verdienst; vergl. Jahresber. f. Agrik.-chemie 1865. p. 267.

***) Vergl. auch die Versuche von Déhérain: Compt. rend. T. 56. p. 965.

†) Vergl. namentlich die von Boussingault gelieferten Zahlen (die Landwirthschaft u. s. w. 2. Aufl. B. II. p. 122).

††) Henneberg: Journ. f. Landwirthsch. 1866. p. 413.

Nemliche zu leisten vermochte, wie eine Gypsdüngung, im Gegentheil gar keine Wirkung zeigte. — ein Umstand, welcher auch der eben entwickelten Theorie gefährlich zu werden scheint. Allein es ist darauf hinzudeuten, dass der Gyps gleichzeitig mehrere Basen, also auch die Magnesia*) in Lösung überführt, dass sich ferner seine lösende Wirkung auch auf die Phosphorsäure erstreckt, wie aus den (eben citirten) Boussingault'schen Resultaten**) und ebenso aus gewissen Mittheilungen von Liebig***) gefolgert werden kann, und dass in vielen Fällen diese mehrseitige Wirkung in Betracht kommen kann, was nicht verhindert, dass das Kali bei dem ganzen Vorgang häufig die Hauptrolle spielt. †)

Auf eine weitere mögliche Theorie, welche vielleicht dereinst berufen ist, die eben vorgetragene zu ergänzen, habe ich auch schon im Allgemeinen hingedeutet, als vorhin von der Beeinflussung der Stoffaufnahme durch das gleichzeitige Vorhandensein anderer gelöster Substanzen die Rede war. Ich habe besonders der Möglichkeit dieser Anschauung Rechnung getragen, weil speziell für den Gyps††) (wie auch für den salpetersauren Kalk) eine solche Befähigung der Kaliaufnahme gegenüber nachgewiesen ist. Die in dieser Richtung angestellten Versuche lehren, dass eine Pflanze aus einer Lösung mit genau dem gleichen Kaligehalt eine weitaus grössere Menge dieses Nährstoffs aufzunehmen vermag, wenn sich Gyps gleichzeitig in Lösung befindet, als wenn jene allein verabreicht wird.

Wir haben es indessen schon vorhin für unzeitgemäss erklärt, auf dieses Verhalten des Gypses eine gewichtige Theorie der Düngewirkung aufzubauen, und begnügen uns hier, jenes dem eingehenden Studium für diesen Zweck zu empfehlen.

Eine weitere Theorie der Düngewirkung des Gypses hat Heiden in seinem Lehrbuch der Düngerlehre†††) wenigstens angedeutet. Derselbe benutzt hierzu auch die von uns früher mitgetheilte Thatsache, §) dass die Transpiration der Blätter der Luftpflanzen durch Erhöhung der Bodenlösungsconcentrationen herabgedrückt werden könne, und dass besonders der Gyps in dieser Richtung Erhebliches zu leisten vermöge, und denkt sich nun, dass in Folge davon Gewächse auf einem Ackerfelde von bestimmtem Wassergehalt länger auszuhalten vermöchten, wenn durch Gypsen dem allzugrossen Wasserverlust vorgebeugt sei. Wir müssen es dahingestellt sein

---

*) Vergl. in dieser Beziehung die von Liebig erlangten Resultate (die Chemie i. i. A. 1862. II. p. 359.)

**) Eine Löslichmachung der Phosphorsäure durch den Gyps könnte natürlich nicht auf den ebenbesprochenen Vorgang, sondern nur auf die direkte Wirksamkeit desselben als Lösungsmittel zurückgeführt werden.

***) Vergl. die Chemie u. i. Anw. u. s. w. 1862. p. 356.

†) Gerade die Boussingault'schen Zahlen beweisen, dass das Kali in einem das der Gesammtasche weit übersteigenden Verhältniss verfügbar geworden ist und aufgenommen wurde, so dass die Mehraufnahme anderer Aschenbestandtheile beinahe wie eine sekundäre Erscheinung aussieht.

††) Vergl. W. Wolf: Landw. Versuchsst. 1864. p. 203. 1865. p. 193, die einundzwanzigste Vorlesung p. 353. Anm. ***).

†††) II. p. 449.

§) Die neunzehnte Vorlesung p. 323. Anm. *).

lassen, ob die Berücksichtigung dieses Verhaltens noch einmal zur Erklärung der eigenthümlichen Wirkung des Gypses beitragen wird.*)

Alles in Allem genommen, können wir uns nicht verhehlen, dass es mit der Erklärung der thatsächlich bestehenden Düngebefähigung des Gypses trotz der vielen Gesichtspunkte, welche sich in dieser Richtung darbieten, noch etwas mangelhaft bestellt ist, dass wir es, wie gesagt, in der Verwendung des Gypses als Düngemittel mit einer jener empirisch wohlbegründeten Massregeln zu thun haben, der die Theorie nur mit Mühe zu folgen im Stande ist, während diese letztere noch auf so schwachen Füssen steht, dass es gar nicht denkbar ist, jene praktischen Massregeln mit einiger Sicherheit aus ihr herzuleiten. — Ein Anderes ist es eben, für eine Erscheinung eine nothdürftige Erklärung beizuschaffen, — ein Anderes, die Erscheinung aus dem klar erkannten Zusammenhang der Dinge vorherzusagen.

Folgende praktische Erfahrungen scheinen übrigens mit der zur Zeit herrschenden und auch von uns mit der grössten Ausführlichkeit behandelten Theorie der düngenden Wirkung des Gypses in völligem Einklang zu stehen.

Der Gyps zeigt nur eine Wirkung auf Feldern, die sonst in gutem Düngungsstande sich befinden und keine erhebliche auf abgebauten Feldern, vermuthlich weil Pflanzennährstoffe in jener leichtgebundenen Form vorhanden sein müssen, damit solche durch den Gyps auf die erläuterte Weise in Lösung gebracht werden können.

Der Gyps wirkt vorzugsweise auf tiefwurzelnde Gewächse, vermuthlich da in Folge jener Wirkung die Nährstoffe, welche in den obersten Bodenschichten allzu fest localisirt vorhanden waren, löslich gemacht und in tiefere Bodenschichten geführt werden.

Die übrigen praktischen Regeln, welche in Bezug auf die Verwendung des Gypses gegeben werden, können dagegen nicht oder nur mühsam auf jene theoretischen Gesichtspunkte zurückgeführt werden. Dahin gehören die so ausschliessliche Verwendung dieses Düngemittels für einzelne Kulturen, vor Allem für den Klee, welche sich doch nur theilweise durch die tiefe Bewurzelung dieser Pflanze erklären lässt, die gänzliche Unwirksamkeit für Getreide,**) die übliche Stärke der Düngung u. s. f., Dinge, die man aus einem Lehrbuche der Landwirthschaft schöpfen mag, auf die hier einzugehen wir aber nicht beabsichtigen.

Was endlich die Bezugsquellen des Gypses angeht, so findet sich derselbe bekanntlich an sehr vielen Orten als Gebirgsart. Man hat Nichts zu thun, als denselben aus seinen reineren Lagen zu gewinnen und zu mahlen. Brennen des Gypses ist für seine Verwendung als Düngemittel durchaus unnöthig, obwohl Dies zur Erleichterung der Zerkleinerung an vielen Orten zu geschehen pflegt. Ausserdem ist

*) Denselben Gesichtspunkt macht Heiden (ebenda II. p. 505) für das sogleich zu behandelnde Kochsalz geltend.

**) Hierbei mag übrigens auch der Gyps als direktes Düngemittel in Betracht kommen und zwar als schwefelsäurehaltige Substanz. Man hat berechnet, dass durch eine durchschnittliche Kleeernte dem Boden das 3—5fache an Schwefel entzogen wird als durch eine Getreideernte. In dieser Hinsicht vergleiche man namentlich die Ausführungen Fr. Schulze über den Gyps in dessen: Chemie für Landwirthe. 1846.

der Gyps Abfall bei manchen Fabrikationen; so fällt er auf den Salinen als Nebenprodukt ab, da die kochsalzhaltigen Quellen, ihrem Ursprung entsprechend, reich an jenem Stoffe zu sein pflegen. Ganz neu erzeugt wird er bei der Fabrikation der Stearinsäure in den Stearinfabriken und ebenso in einigen anderen Etablissements und wird als sonst nicht zu verwerthender Abfall aus denselben namentlich zu landwirthschaftlichen Zwecken abgegeben. *)

An den Gyps reihen sich unter den indirekten Düngemitteln zunächst die übrigen kalkreichen Substanzen an, der *Aetzkalk* und *Stoffe, welche wesentlich aus kohlensaurem Kalke bestehen*, wie namentlich der *Mergel*. Die sehr ähnliche Wirkungsweise des kaustischen und des kohlensauren Kalkes erlaubt es, beide einer gemeinschaftlichen Behandlung zu unterziehen. Beide, der Aetzkalk und der Mergel (welcher letztere in seiner Wirkungsweise dem reinen kohlensauren Kalke sehr nahe steht) waren wie der Gyps von den Alten **) gekannt, woraus die Allgemeinheit der Wirksamkeit dieser Stoffe, welche es allein ermöglicht, ohne naturwissenschaftliche Kenntniss von der Pflanzenernährung ein Düngemittel aufzufinden, zur Genüge hervorleuchtet.

Bezüglich der Wirkungsweise des nicht an fixe Säuren gebundenen Kalkes ist Etwas Aehnliches zu sagen, wie über die Wirkungsweise des Gypses, nemlich in sofern, als beide klar und deutlich ihre *indirekte* Wirksamkeit documentiren. Der Kalk wirkt auf Bodenarten ertragserhöhend, in denen offenbar kein eigentlicher Mangel an diesem Nährstoffe herrscht und wo eine Erhöhung des Kalkgehalts in den gewachsenen Pflanzen in Folge einer solchen Düngung kaum nachgewiesen werden kann. Es liegt also derselbe Grund vor wie beim Gypse, wenn man auch in diesem Falle nach der Ursache einer indirekten Wirksamkeit späht.

In der That, wir brauchen nicht lange zu suchen, um zu erkennen, dass dem Kalke eine eigenthümliche, in vielen Fällen kaum zu entbehrende Wirksamkeit im Boden zukommt, welche von seiner direkt ernährenden Fähigkeit ganz auseinander gehalten werden muss. Wir haben gesehen, dass die humosen Substanzen in der Ackererde vorzüglich deshalb wirken (wenn wir von den physikalischen Vortheilen, die sie derselben darbieten, einstweilen absehen), weil ihre Zersetzungsprodukte, Kohlensäure und salpetersaure Verbindungen, wichtige Pflanzennährstoffe sind und gleichzeitig wohlthätige Umsetzungen in der Ackererde veranlassen. Vom Aetzkalke ist es nun mit Sicherheit erwiesen, dass er die Zersetzung jener humosen Substanzen beschleunigt. Man hat Versuche angestellt, wo humose Erde vergleichungsweise mit Aetzkalk gemischt und ohne denselben einem abgesperrten Volum von atmosphärischer Luft ausgesetzt wurde.***) Der Sauerstoffkonsum und die Kohlensäureproduktion war in den Fällen um das Vielfache höher, wo Kalk beigemischt war, so dass

*) Eine ganz ähnliche Wirkung wie der Gyps übt auch die schwefelsaure Magnesia (Bittersalz) auf die Fruchtbarkeit der Ackererde aus, wie z. B. die Versuche von Pinkus lehren (vergl. Versuche u. s. w. der landw. Versuchsst. zu Insterburg 1861), was natürlich auf dieselben Gesichtspunkte zurückzuführen ist. Die praktische Bedeutung dieser Wirksamkeit ist aber aus naheliegenden Ursachen eine weit geringere.

**) Plinius spricht von beiden Düngemitteln eingehend (vergl. Plinius, L. 17. p. 4. Beheim-Schwarzbach: Beitrag zur Kenntn. d. Ackerb. d. Römer. p. 89).

***) Fr. Schulze: Chemie f. Landwirthe I. p. 677.

also der eben hervorgehobene Einfluss ausser allem Zweifel steht. Man darf sich hierbei nicht dadurch irre machen lassen, dass der Kalk auf den frischen Mist eher conservirend wirkt.*) Die Ursache der so sehr verschiedenartigen Wirksamkeit auf die schon weit in der Verwesung fortgeschrittenen organischen Bestandtheile der Ackererde, welche grösstentheils die chemische Form von Humusstoffen angenommen haben, und auf die noch meistens ganz unverwesten organischen Substanzen des frischen Mistes muss natürlich in der Verschiedenheit des Verwesungschemismus in beiden Fällen liegen und wird uns so lange unbekannt bleiben, als wir mit diesem Chemismus noch nicht näher vertraut sind. In Betreff der Wirksamkeit einer Beimischung von Kalk zu einer humosen Ackererde auf die Verwesung der organischen Bestandtheile derselben ist weiter an einige früher bei Behandlung der Humusstoffe gemachte Mittheilungen**) zu erinnern, wo gesagt wurde, dass die humussauren Salze (in feuchtem Zustande) weit leichter an der Luft einer Oxydation zugänglich sind, als die Humussubstanzen für sich. Die chemische Ursache dieses Verhaltens liegt natürlich in der uns unbekannten Constitution der Humussubstanzen, ist also mit jenem Hinweis keineswegs aufgeklärt; aber offenbar wirkt der Aetzkalk und der kohlensaure Kalk so, dass er Veranlassung zur Bildung von humussauren Salzen gibt und so die organischen Bestandtheile der Ackererde einer Oxydation zugänglicher macht.

Auf diese eigenthümliche Wirksamkeit des Kalkes, welche ganz allein dieser Base in der praktischen Landwirthschaft zuzukommen scheint, weil andere Basen entweder nicht in so grossen Mengen frei von fixer Säure wohlfeil zu beschaffen sind, oder in dieser Form allzu energische, das Pflanzenwachsthum schädigende Eigenschaften an sich tragen, lässt sich nun grossentheils seine Bedeutung als Düngemittel zurückführen. Der Kalk wird in allen den Fällen eine hervorragende Bedeutung als solches haben, wo eine Verminderung der Humusstoffe aus dem einen oder dem anderen Grunde am Platze erscheint, natürlich immer abgesehen von seiner Bedeutung als direkt wirkendes Düngemittel in allen Böden, wo es an Kalk zur Pflanzenernährung geradezu gebricht.

Wir haben früher gesehen, dass die Humusstoffe, in nicht zu bedeutenden Mengen der Ackererde beigemischt, derselben wohlthätige physikalische Eigenschaften ertheilen, dass sie aber, wenn sie durch das Fehlen der Verwesungsbedingungen mehr und mehr in's Uebergewicht gerathen, auch ausserordentlich schädigend auf weitaus die meisten Kulturen einzuwirken vermögen. Daraus ergibt sich dann einerseits die Einschränkung für die Verwendbarkeit der Kalkdüngung, denn wenn auch die in Folge einer beschleunigten Verwesung der Humussubstanzen frei werdenden Verwesungsprodukte unter gewöhnlichen Verhältnissen nur günstig wirken können, so ist doch eine allzugrosse Beraubung eines Bodens an den ihm angehörigen organischen Resten wegen jener physikalischen Vortheile, die sie gewähren, vom Uebel.

In Bezug des Einflusses der Humussubstanzen auf das Verhalten einer Ackererde der Wärme und der Feuchtigkeit gegenüber rufe ich Folgendes in's Gedächtniss zurück.***) Die Böden, welche reich an humosen Bestandtheilen sind, würden, ab-

*) Vergl. die dreiunddreissigste Vorlesung p. 189.

**) Vergl. die siebenundzwanzigste Vorlesung p. 64.

***) Vergl. die dreissigste und einunddreissigste Vorlesung.

gesehen von ihrem Wassergehalt, eine hohe mittlere Temperatur besitzen, da sie wegen ihrer dunklen Farbe ausserordentlich der Erwärmung durch die Sonne zugänglich sind, und Dies würde offenbar ein Vortheil für alle Länderstriche in den gemässigten Klimaten sein. Allein sehr humusreiche Bodenarten sind zugleich auch mit einer grossen wasseranziehenden und wasserhaltenden Kraft begabt und sind deshalb in feuchten Klimaten auch durchschnittlich feucht, so dass hierdurch ihre Erwärmungsfähigkeit und Durchschnittstemperatur gewaltig herabgedrückt wird. In der grösseren Bodenfeuchtigkeit, die ja für alle trocknen Gegenden sehr von Belang ist, sowie in der Lockerung, die der Humusgehalt in schweren Böden bewirkt, und welche sowohl für das Pflanzenthum, wie für die Bodenbearbeitung vortheilhaft ist, liegen die wesentlichsten physikalischen Vortheile desselben.

Dagegen treten umgekehrt die Nachtheile eines solchen Gehalts hervor, wenn der Humusgehalt einen gewissen Procentsatz übersteigt; dann neigt ein solcher Boden in allen Gegenden von nicht sehr grosser Trockenheit zu einer ausserordentlichen Nässe. Alle kapillaren Zwischenräume desselben sind dann beinahe unausgesetzt mit Wasser erfüllt, die Luft ist fast ganz und gar von der Theilnahme an den Reaktionen in der Ackererde ausgeschlossen, und alsdann sind alle Bedingungen vorhanden zu demjenigen Verlauf des Verwesungsprocesses, den wir chemisch klar zu definiren zwar noch nicht im Stande sind, der aber erfahrungsmässig von sehr üblen Folgen für die Kultur unserer gewöhnlichen Gewächse begleitet ist, und dessen Resultat der Praktiker mit dem Namen der Bildung von „saurem" Humus belegt. Es ist Dies derselbe Process, dessen endgültiges Produkt die Torfmoore mit ihrer spärlichen und zu Kulturzwecken ganz ungeeigneten Vegetation sind.

Es ist bei der Schilderung dieser ungünstigen Bodenbeschaffenheit ganz besonders darauf zu achten, dass Zunahme der Humussubstanzen und ein grosser Wassergehalt des Bodens sich gegenseitig begünstigen, dass wir es hier mit einem Verhalten zweier Erscheinungen, von denen jede die Ursache der anderen ist, zu thun haben, welche sich demgemäss gegenseitig bis in's Unbegrenzte zu steigern suchen, und für deren Mässigung in der Natur kein regulirendes Moment gegeben ist. Neigt ein Boden aus irgend einer Ursache zu grosser Nässe, also ist z. B. der Spiegel des Horizontalwassers in allzu grosser Höhe, oder wird das Bodenwasser durch eine undurchlässige Schicht am Abfluss verhindert, so geht die Verwesung der in und auf ihm sich ablagernden organischen Substanz wegen Verhinderung des Luftzutritts mit sehr grosser Langsamkeit und in einer Richtung von Statten, dass das Entstehen von sogenanntem sauren Humus die Folge ist. In Folge der unmässigen Anhäufung aber von organischen halbverwesten Stoffen vermehren sich fortwährend diejenigen Eigenschaften der Ackererde (Wasserkapacität und Kälte), welche eine noch grössere Hinneigung zum Wasserreichthum zur Folge haben u. s. w.

Um diesen Process, der sich an sehr vielen Orten der gemässigten Klimate ungestört vollziehen würde, wenn nicht die Menschenhand einen wohlthätigen Eingriff in diesen natürlichen Lauf der Dinge ausübte, zu verhindern, ist das Aufbringen von Kalk ein werthvolles Mittel. Allein es ist nicht das einzige, denn der Kalk kann nicht das Mindeste zur Beschleunigung der Verwesung beitragen, so lange die Ackererde dem Zutritt der Luft den Eingang versagt. Ja ein Boden, der aus Nichts Anderem besteht, als aus einem lockeren Kalksande, ist recht wohl einer schäd-

lichen Humusbildung*), einer Entstehung von Torfmooren zugänglich, wie dergleichen Bildungen auf dem sogen. Elmsande, der fast ausschliesslich aus Kalk besteht, auf's Deutlichste lehren.**) Wenn man aber den Boden durch Tieferlegen des Horizontalwassers oder durch Durchstechen der undurchlässigen Unterlage, mit einem Worte, durch Drainiren dem Eintritt der Luft zugänglich macht, ihn entwässert, oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, den Boden trockenlegt und dann Kalk aufführt, so ist die Massregel stets von Erfolg begleitet. Der Kalk beschleunigt alsdann die Zersetzung der massenhaft angesammelten organischen Substanz, während ohne denselben der Boden eine längere Zeit die „saure" Beschaffenheit und seine Neigung Wasser anzusammeln und von Neuem zu dem alten Uebelstande zu neigen, beibehalten haben würde, und führt jenen zu einer geeigneteren chemischen und physikalischen Beschaffenheit zurück, eröffnet ausserdem in Folge derselben Wirksamkeit der Vegetation reichliche bis dahin aufgesparte Quellen an zugänglicher Pflanzennahrung und wirkt in jeder Beziehung nützlich.

In Betreff des Chemismus, welcher durch die Einverleibung des Kalkes in einen Boden von saurer humoser Beschaffenheit ausgeübt wird, lässt sich noch Einiges Weitere angeben. Es ist nicht blos die Beschleunigung der Verwesung der Humusstoffe, welche der Kalk in einem solchen Boden bewirkt, sondern man schreibt mit Recht dieser *Base* auch eine ganz unmittelbare wohlthätige Wirkung zu.***) Die „sauren Humusstoffe" sind nicht blos ein willkürlich gewählter Name; der Ausdruck ist vielmehr auch in chemischer Beziehung einiger Massen bezeichnend, denn die so benannten Stoffe sind von ziemlich saurer Beschaffenheit und ohne Zweifel auch durch dieselbe den Kulturgewächsen schädlich. Diese freien Humussäuren werden natürlich sehr rasch durch den Aetzkalk abgestumpft, etwas langsamer auch durch den kohlensauren Kalk. Eine Versumpfung auf Kalkunterlage wird deshalb nur die physikalischen schädlichen, nicht aber die chemischen Eigenschaften eines sonstigen Moorbodens im Gefolge haben können.

Ausserdem enthält aber fast jeder saure humose Boden in Folge des Sauerstoffabschlusses und der Reduktionsprocesse, welche sich in ihm vollziehen, sein Eisen in Form von schwefelsaurem Eisenoxydul, — einer Substanz, welche in grösseren Mengen dem Wachsthum vieler Pflanzen und, wie es scheint, wieder vorzugsweise den Kulturgewächsen ausserordentlich schädlich ist. Dieses schwefelsaure Eisenoxydul wird nun durch den Kalk, wenigstens durch den kaustischen zerlegt; es entsteht Gyps und ausserordentlich leicht oxydirbares (kohlensaures) Eisenoxydulhydrat, das sich an der Luft sehr bald zu Eisenoxydhydrat oxydirt, in welcher Form das Eisen ein nützlicher Betandtheil einer Ackererde ist.

---

*) Wenn auch keiner Entstehung von eigentlichem sauer reagirendem Humus.

**) Vergl. auch E. Wolff: Würtemberg. Wochenbl. 1865. p. 217 und Jahresber. der Agrik.-chem. 1865. p. 242.

***) Von hohem Interesse sind in dieser Beziehung die Zusammenstellungen des Kalkgehalts und der basischen oder sauren Beschaffenheit vieler Marschböden von A. Stöckhardt: Chem. Ackersm. 1866 u. Jahresber. f. Agrik.-chem. 1866. p. 10.

Hiermit ist nun die hervorragendste Bedeutung von Kalk und Kalkdüngung*) für den Boden erledigt. Nebensächliche**) ergeben sich allerdings noch eine ganze Reihe, von denen wenigstens Einiges angedeutet zu werden verdient. Dem Aetzkalke kommt auch schon in der Kälte (in unvergleichlich viel höherem Grade freilich in der Glühhitze) die Fähigkeit zu, zur Aufschliessung der schwerzersetzbaren Silicate beizutragen, d. h. die Verwitterung derselben zu beschleunigen. Dabei werden dann kalkhaltige Zeolithe gebildet und andere vorher den Silicaten angehörige Basen, von denen hier wieder das Kali von hervorragender Wichtigkeit ist, werden in Freiheit gesetzt oder wenigstens in einen leichtlöslichen Zustand übergeführt.

Eine ganz ähnliche, obwohl nach der üblichen Ausdrucksweise an einem anderen Orte einzureihende Einwirkung übt der Kalk auf die leichtlöslichen Silicate, welche wir als den Sitz der Basenabsorption anzusehen haben, aus. Auch dort bewirkt er, nur sehr viel rascher eine Substitution, bei welcher andere Basen in leichter zugängliche Formen übergeführt werden. Es ist die gleiche Erscheinung, welche wir vorhin erst für den Gyps besprochen haben, und auch der kohlensaure Kalk ist, soweit er sich im Boden in kohlesäurehaltigem Wasser löst, zu einer analogen Wirkung befähigt.

Häufig wird in ganz ähnlicher Absicht, wie das Aufführen von Kalk vorgenommen wird, eine Erdart hierzu verwendet, die nur besonders reich an kohlensaurem Kalke ist, im Uebrigen aber noch eine Reihe von wichtigeren oder gleichgültigeren Bestandtheilen enthält. Der *Mergel* ist das bekannteste erdartige Düngemittel, von dem das Ebengesagte gilt. Es ist Dies eine kalkig-thonige Ablagerung, die häufig noch mit Sande vermischt ist und je nach dem Charakter dieser Beimengung eine entsprechende Bezeichnung erhält. Das Aufbringen von Mergel, welches auf manche Bodenarten oft in ausserordentlich grossen Mengen geschieht, gehört eigentlich in das schon behandelte Kapitel der Düngungsmethoden, welche auf einem Vermischen von Erdarten beruhen, doch sind die Gesichtspunkte, aus denen sich der Nutzen eines solchen Verfahrens herleitet, theilweise dieselben, welche wir oben für die Zweckmässigkeit des Kalkens hervorgehoben haben. Beim Mergeln kommt aber noch nebenbei der oft sehr beträchtliche Gehalt an Phosphorsäure und anderen werthvollen Pflanzennährstoffen in Erwägung, und man sucht ausserdem durch denselben die physikalische Beschaffenheit eines zu schweren oder zu leichten Bodens ganz direkt zu ändern, während er sich entsprechend seiner Zusammensetzung etwas weniger zur Entsäuerung von Moorböden und den anderen oben beschriebenen Wirkungen, zu denen der Aetzkalk besonders tauglich ist, eignet. Eine eingehendere

---

*) Um die so allgemeine Wirksamkeit des Kalkens völlig zu verstehen, muss man auf den Umstand achten, dass der Kalkgehalt eines Bodens schon an sich unabhängig vom Verbrauch desselben durch die Pflanzen ist und (jedenfalls in Folge der Auswaschung durch den Regen) stetig abzunehmen pflegt — in einem Grade, dass ursprüngliche Kalkböden zu solchen werden können, die nur noch ein halbes Procent kohlensauren Kalk enthalten. Vergl. vorzüglich: Jahresber. d. Agrik.-chem. 1866. p. 8 und van Bemmelen: Landwirth. Versuchsst. 1866. p. 259.

**) Ueber die Wirksamkeit des Kalkes als Lockerungsmittel schwerer Bodenarten vergl. F. Schulze: Jahresber. f. Agrik.-chem. 1866. p. 48.

Behandlung bedarf indessen die Verwendung derartiger Materialien zur Düngung nicht.

Es ist nach dem über Kalk- und Mergeldüngung Gesagten nicht mehr nöthig hinzuzusetzen, dass die Zufuhr dieser Stoffe in keiner Weise für andere Düngungsmethoden stellvertretend vorgenommen werden kann. Es geht Dies nicht blos aus dem einfachen Umstande hervor, dass jene Düngemittel viele der werthvollsten Pflanzennährstoffe gar nicht in sich enthalten, sondern auch aus jenem anderen Gesichtspunkte, dass für die meisten Bodenarten die Einverleibung von organischen Stoffen, die dort einer langsamen Verwesung unterliegen, durchaus Bedürfniss ist (aus einer Reihe von Gründen, die wir nicht fort und fort zu wiederholen brauchen). Die kalkigen Düngemittel enthalten keine derartigen organischen Stoffe in sich, tragen vielmehr zur Zerstörung der noch im Boden vorhandenen Humusstoffe mit grosser Energie bei. Von einem gewissen Zeitpunkt nach einer vorgenommenen Kalkung und Mergelung an ist daher die Zufuhr einer Stallmistdüngung dringendes Bedürfniss, ohne dessen Befriedigung die Ertragsfähigkeit des Bodens sehr wesentlich beeinträchtigt wird, und zwar ein Bedürfniss, welches in Folge des schnelleren Umsatzes des Düngerkapitals rascher zu Tage tritt, als es sonst sich geltend gemacht haben würde. Das Aufbringen von Kalk oder Mergel macht einen reichen Boden momentan zu einem fruchtbareren, aber auch zu einem „hungrigen" und nur zu einem dauernd fruchtbaren, wenn dieser Hunger regelmässig befriedigt wird. Aus diesen Worten erhellt das Wesen des Kalkens und der Mergelung in wirthschaftlicher Beziehung, und wo man Dies verkennt, wo man — wie Das bei gedankenlosen Praktikern zu geschehen pflegt — Düngung mit Düngung ohne weitere Berücksichtigung des Charakters derselben identificirt und in Folge dessen glaubt, durch starke Mergelung den Stalldünger (oder dessen Stellvertreter) ersetzen zu können, da trifft denn das bekannte Sprichwort zu: „Der Mergel macht reichen Vater, aber armen Sohn"*), dessen Einseitigkeit indessen andererseits nach der eben gegebenen Darstellung klar zu Tage liegt.

Was die praktische Verwendung von Kalk und Mergel betrifft, so richtet sich dieselbe begreiflicher Weise vielmehr nach dem Boden als nach der angebauten Pflanze. Eine ganz besondere Bedeutung haben die kalkigen Düngemittel für moorige Wiesen, die trockengelegt werden. Bezüglich der Stärke der Düngung kann gesagt werden, dass der kohlensaure Kalk und also auch der Mergel in beinahe ganz beliebigen Mengen Verwendung finden kann, da es ja Bodenarten gibt, die beinahe ganz ausschliesslich und unbeschadet ihrer Fruchtbarkeit wesentlich aus diesen Materialien bestehen. Etwas Anderes gilt natürlich für den Aetzkalk; derselbe darf natürlich wegen des schädlichen Einflusses alkalischer Substanzen auf das Pflanzenwachsthum nur in begrenzten Mengen und unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmassregeln (nur auf dem vegetationsleeren Boden) auf die Felder gebracht werden, obgleich auch für dieses Düngemittel die Angaben über die zu verwendenden Mengen in den einzelnen Ländern ausserordentlich verschiedene sind.

---

*) Die gleiche Erfahrung in Folge einer zu einseitigen Verwendung der Mergelung ist in dem Ausdruck „ausgemergelt" niedergelegt, der ursprünglich vom Boden gebraucht worden zu sein scheint.

Als weiteres Düngemittel, das an dieser Stelle noch erwähnt zu werden verdient, ist das *Kochsalz* zu nennen. Bei dieser Substanz kann man um so weniger daran zweifeln, dass seine Wirksamkeit eine wesentlich indirekte ist, da dieselbe keine pflanzlichen Nährstoffe in sich enthält. Wenn es auch noch nicht mit völliger Sicherheit erwiesen ist, dass die Natrium- und die Chlor-Verbindungen für die Gesammtheit der Kulturgewächse gänzlich unnütze Bestandtheile sind, wenn unter manchen Umständen vielmehr dem einen oder dem andern derselben eine gewisse Nützlichkeit nicht abgesprochen werden kann,*) so beweist doch schon die Unsicherheit, mit welcher dieser Satz ausgesprochen wird, zusammengehalten mit dem beträchtlichen Gehalt unserer Ackererden und der Aschen der Kulturgewächse an diesen Bestandtheilen, dass eine direkte Zufuhr derselben durch die Fürsorge des Menschen ganz und gar überflüssig ist, wesshalb auch die Berücksichtigung eines etwaigen derartigen Bedürfnisses bei Behandlung der Düngestoffe unterbleiben konnte. Kommt dem Kochsalz daher in irgend einem Falle eine entschiedene Düngewirkung zu, so kann diese für unsere gewöhnlichen Kulturgewächse nur auf eine indirekte Beeinflussung der Ernährung zurückgeführt werden.

Die Erfolge einer Kochsalzdüngung sind je nach den Umständen ihrer Vornahme ganz ausserordentlich verschieden, und Dem entsprechend sind auch die Urtheile der Praktiker über den Werth einer solchen Düngung sehr weit auseinandergehend. Wie man schon in vielen Schriftwerken der ältesten Völker der Kochsalzdüngung (sind anders die Uebersetzungen getreu) erwähnt findet, als einer nützlichen und üblichen landwirthschaftlichen Manipulation, so ergibt sich aus anderen Stellen, dass „Salz auf irgend ein Land streuen" als symbolischer Ausdruck für dessen Verdammung zur ewigen Unfruchtbarkeit gebraucht wird, woraus wenigstens die schädigende Wirkung eines Uebermaasses jenes Düngemittels abgeleitet werden kann. Deutlicher in Bezug auf die Verschiedenheit der Erfolge einer mässigen Kochsalzdüngung sprechen die Urtheile einer näher liegenden Vergangenheit oder der Gegenwart. Man hört von geradezu entgegengesetzten Resultaten bei der Anwendung dieses Düngemittels unter beinahe denselben Verhältnissen, während fast alle anderen Düngemittel wohl einmal in einzelnen Fällen aus naheliegenden Gründen ihre Wirkung versagen, selten aber gerade in's Entgegengesetzte verkehren.

Wenn man sich nun die möglichen Wirkungen einer Kochsalzdüngung nach den uns bekannten Gesetzmässigkeiten der Pflanzenernährung und der Bodenreaktionen klar zu legen sucht, so gelingt es in der That ohne grosse Schwierigkeit, einige Gründe für ein derartig verschiedenes Verhalten aufzufinden.

Eine vortheilhafte Wirkung lässt sich einfach auf den vorhin ganz im Allgemeinen und dann bei Behandlung des Gypses geltend gemachten Gesichtspunkt der Basensubstitution in den wasserhaltigen Silicaten zurückführen, und wir könnten hier beinahe wörtlich wiederholen, was dort gesagt wurde.**) Ein Natronsalz mit einer gewöhnlichen Ackererde, welche absorbirte Basen in sich enthält, in Berührung ge-

*) Vergl. erster Theil, fünfzehnte und sechszehnte Vorlesung.

**) Vergl. auch die umfassenden Zersetzungsversuche mit Gyps, Aetzkalk, Kochsalz und anderen Substanzen von Dietrich: Jahresber. f. Agrikultur-chemie 1858—59. p. 29; 1862—63. p. 12 u. s. w.

bracht, macht Kalk, Magnesia, Ammoniak und namentlich Kali, auf das es auch hier wieder in erster Linie ankommt, frei, während ein entsprechender Theil Natron in unlöslicher Form fixirt wird. Daraus entsteht einmal ein Zuwachs an leicht verfügbaren Nährstoffen, und ausserdem wird der allzustarken Localisation derselben in den oberen Bodenschichten entgegengewirkt, — Dinge, die unter gewissen Umständen, die sich von selbst ergeben, von Vortheil für die Zwecke der Kultur sein müssen. Zur Demonstration dieses Verhaltens führe ich hier die Versuche von Eichhorn an, welcher eine Ackererde vergleichungsweise mit Wasser und $^1/_{10}$procentiger Kochsalzlösung auslaugte. *)

Die Ergebnisse derselben waren in Pfunden, auf einen preussischen Morgen Ackerland von ein Fuss Tiefe berechnet, folgende:

	Reines Wasser.	Kochsalzlösung.
Schwefelsäure	117	130
Phosphorsäure**)	36	27
Kali	134	171
Kalk	149	315
Magnesia	45	82
Ammoniak	10	12

Diese Zahlen bedürfen keiner Interpretation.

Eine weitere möglicher Weise günstige Wirkung ergibt sich aus Dem, was im ersten Theil***) über die Erfolge einer Pflanzenernährung mit Chlorverbindungen gesagt wurde. Es wurde dort hervorgehoben, dass die Ernährung mit diesen Verbindungen die Massenproduktion bei manchen Kulturgewächsen begünstige. Düngungsversuche direkt mit Kochsalz angestellt, bestätigen auch im Speziellen einiger Massen jene allgemeine Angabe, obwohl auch viele Versuche vorliegen, aus denen sich gerade das Umgekehrte folgern liesse.

Das Letztere wird verständlich, wenn man die möglichen schädlichen Wirkungen des Kochsalzes in's Auge fasst. Wir haben an der eben citirten Stelle nicht unterlassen zu erwähnen, dass manche Chlorverbindungen, namentlich das Chlormagnesium und Chlorkalcium, die bei jenem Substitutionsprocesse nothwendig entstehen müssen, ganz im Allgemeinen schädlich auf das Pflanzenwachsthum wirken. Sind im Boden nach Kochsalzdüngung die Bedingungen vorhanden zur Entstehung jener schädlichen Stoffe, so wird leicht jene günstige Wirkung, welche Chlorkalium oder Chlornatrium häufig auf die Massenproduktion ausüben, paralysirt werden können. Ebenso erinnere ich daran, dass man namentlich auch durch Düngungsversuche im Grossen eine fast regelmässige Verminderung des Gehalts der Pflanzen an Kohlehydraten, an Zucker und Stärkemehl nach einer Ernährung mit chlorreichen Nährgemischen wahrgenommen hat, worin also auch eine entschiedene Schädlichkeit der Kochsalzdüngungen liegt. Eine ganze analoge doppelsinnige Wirkung haben wir am genannten Orte für

---

*) Chem. Ackersm. 1861. p. 28 und Heiden: Düngerlehre II. p. 491. Ueber denselben Gegenstand vergl. Frank: Landw. Versuchsst. 1866. p. 45.

**) Nach anderen Untersuchungen (von Frank und Peters; vergl. ebenda p. 492) übt auch das Kochsalz auf die Phosphorsäure eine lösende Wirkung aus.

***) Die fünfzehnte Vorlesung p. 251.

die Chlorverbindungen auf den Tabak hervorgehoben, und speziell für die Kochsalzdüngung können wir an dieser Stelle hinzusetzen, dass durch dieselbe ein so ausserordentlich unverbrennlicher Tabak erzeugt wird, dass gar nicht daran gedacht werden kann, dieser Nachtheil werde durch den Vortheil einer übrigens noch zweifelhaften Mehrproduktion aufgewogen.

Aus dieser Sachlage geht einfach hervor, dass die Frage nach der Nützlichkeit oder Schädlichkeit einer auch nur mässigen Kochsalzdüngung gar nicht allgemein beantwortet werden kann. Je nach der Beschaffenheit des Bodens, nach Art der Kultur, nach den herrschenden klimatischen Bedingungen, ja selbst nach den wirthschaftlichen Verhältnissen wird das Eine oder das Andere überwiegen können, und es kann unter diesen Umständen lediglich Sache der Praxis sein, sich probirend über die Zweckmässigkeit zu orientiren. Unsere deutsche landwirthschaftliche Praxis ist fast durchweg gegen die Kochsalzdüngung eingenommen; in England wird dieselbe dagegen weit häufiger empfohlen. Auf was dies verschiedene Urtheil zurückzuführen ist, ob demselben physische oder wirthschaftliche Unterschiede zu Grunde liegen und welche diese sein mögen, ist zu beantworten noch nicht unternommen worden.

Am Günstigsten beurtheilt die landwirthschaftliche Praxis*) die Kochsalzdüngung für Wiesen, besonders für feuchte Wiesen. Man hat in vergleichenden Düngungsversuchen die unter dem Einfluss von Kochsalz gewachsenen Pflanzen reicher an Proteïnstoffen und an Holzfaser, ärmer an Kohlehydraten gefunden; allein der wichtigste Vortheil der so erzeugten Gräser möchte der sein, dass sie vom Vieh, wohl wegen ihres Kochsalzgehalts sehr gerne gefressen werden. In diesem Falle kommt eben die Bedeutung des Chlornatriums für die thierische Ernährung in Betracht. Auch sind die Wiesengräser allem Anschein nach gegen Chlormagnesium- und Chlorkalciumlösungen im Boden in hohem Grade unempfindlich, wie schon aus dem Umstande hervorgeht, dass die chlorhaltigen Kalidünger, gegen deren Anwendung sonst manche nachtheilige Erfahrungen vorliegen, auch auf Wiesen, die relativ günstigsten Erfolge hervorgebracht haben.**)

Ferner sind vielleicht noch die vielfachen günstigen Folgen der Kochsalzdüngungen auf verschiedene Pflanzengattungen bei gleichzeitiger Stickstoffdüngung erwähnenswerth. Man hat beobachtet, dass Felder, gleichzeitig mit Salpeter und Kochsalz oder auch mit Ammoniaksalzen und Kochsalz gedüngt, höhere Erträgnisse gegeben haben, als mit den stickstoffhaltigen Düngern allein.***) Eine Erklärung dieser Thatsache, die jedoch durchaus nicht ausnahmslos zutrifft, ist bisher noch nicht versucht worden.

Wir stehen hier am Schlusse des rein physischen Theils unserer Aufgabe, welche darin bestand, die in der Praxis üblichen Düngungsmethoden, so weit Dies möglich, auf die gewonnene theoretische Erkenntniss der Pflanzenernährung und der Bezieh-

*) Praktische Düngungsversuche mit Kochsalz sind unter Anderem von Dietrich angestellt worden (Jahresber. f. Agrik.-chemie 1863—64. p. 196).

**) Vergl. die siebenunddreissigste Vorlesung p. 264 Anm. *).

***) Vergl. Liebig: Die Chemie i. i. Anw. u. s. w. 1862. II. p. 349, 350.

ungen dieser letzteren zum Boden zurückzuführen. Es sind zwar noch einige wichtige landwirthschaftliche Massregeln übrig, welche sich so enge an die eigentlichen Düngungsmethoden anschliessen, dass man wohl eine ausführliche Behandlung jener an dieser Stelle erwartet hat, ich meine die Methoden des Erdbrennens, das Einschalten einer Brache, die einfachsten Weisen der Bodenbearbeitung, eine Reihe von Bewässerungs- und Entwässerungsmethoden und sonstiger Meliorationsarbeiten, etwas Ausführlicheres über die Gründüngung u. s. f. Alle diese Gegenstände haben entweder nur eine andeutungsweise, dem Bedürfniss des Praktikers entfernt nicht genügende Behandlung erfahren oder sind vollständig mit Stillschweigen übergangen worden.

Wir sind aber hierin durchaus unserem Grundsatze treu geblieben, nur diejenigen Handlungen des Praktikers einer Betrachtung zu unterwerfen, welche nach dem heutigen Stande der Wissenschaft einer theoretischen Interpretation fähig erscheinen, und auf deren Handhabung die theoretische Erkenntniss daher einen Einfluss ausübt, oder in Bälde auszuüben verspricht. Dies trifft für die landwirthschaftliche Manipulation der Zufuhr von Substanzen auf die Grundstücke zum Zwecke der Ertragserhöhung, die wir Düngung nennen, einiger Massen zu, obwohl wir im Laufe unserer Behandlung auf manch' einen Düngestoff gestossen sind, für dessen erprobte Wirksamkeit die theoretische Erklärung kaum auszureichen scheint, und welcher deshalb auch nur einer flüchtigeren Betrachtung unterzogen wurde.

Die von uns vernachlässigten, eben aufgezählten landwirthschaftlichen Operationen, welche sich in jedem praktischen Lehrbuch der Landwirthschaft in ausführlicher Detailbeschreibung unmittelbar an die eigentlichen Düngungsmethoden anschliessen würden, sind entweder in ihrer Absicht so einfacher Natur, dass ihre Vornahme nach der Erkenntniss der Bedingungen der Pflanzenernährung durchaus selbstverständlich erscheint, oder sie sind, wenigstens in den Einzelheiten ihrer praktischen Ausführung, nicht mit Sicherheit auf theoretische Gesichtspunkte zurückzuführen. Nur einige nützliche Bemerkungen hinsichtlich einzelner jener Operationen können und sollen gemacht werden, obgleich sie sich fast ganz und gar bei einigem Nachdenken ohne besondere Erwähnung aus dem früher bereits Gesagten ergeben haben würden.

Das *Erdbrennen* lässt sich in seiner Wirksamkeit durch Folgendes erklären. Dasselbe wird entweder auf ausserordentlich humusreichen Böden vorgenommen, in einer Weise, dass man die Pflanzennarbe bis zu einer gewissen Tiefe abschält, trocknen lässt und auf Haufen in Brand steckt und schliesslich die Asche gleichmässig vertheilt. In diesem Falle ist eine Erhöhung der Fruchtbarkeit durch ein derartiges Verfahren möglich, weil ein Uebermass an Humus haufig schädlich wirkt, indem ein solcher Boden gewisse, schon geschilderte ungünstige physikalische Eigenschaften hat, ferner weil dadurch eine Concentration der mineralischen Nährstoffe bewirkt wird u. s. w.*) Es geht daraus hervor, dass dieses Erdbrennen einen ganz ähnlichen Zweck, wie die Auffuhr von Aetzkalk oder kohlensaurem Kalk hat. Ueber die Wahl der einen oder der anderen Methode entscheiden häufig nur wirthschaftliche Rücksichten.

---

*) Vergleichende sehr lehrreiche Versuche über die Erfolge des Moorbrennens hat Zacharias (Wilda: Landw. Centralbl. 1858. II. p. 20) angestellt.

Von diesem in seinem Zwecke so leicht verständlichen Erdbrennen, welches in der oder jener Form eine ausserordentliche Verbreitung besitzt, ist in Absicht und Verfahrungsweise das *Thonbrennen* streng auseinander zu halten. Dies letztere wird vorgenommen mit einer Erde, welche häufig nur wenig humose Stoffe enthält, dagegen stark thonig ist, und — soll das Verfahren von erheblichem Nutzen sein — auch eine gewisse Menge Kalk in sich enthalten muss. Es ist deshalb zum Thonbrennen ein eigentliches Brennmaterial, auf das der abgestochene Boden in kunstvoller Weise geschichtet werden muss, erforderlich, und schon daraus lässt sich entnehmen, dass dies Verfahren den intensiven Bewirthschaftungsarten angehört, während jenes Moorbrennen eher für extensive charakteristisch ist. — In England ist z. B. das Thonbrennen weit verbreitet.

Der Erfolg des Thonbrennens muss vorzüglich auf die veränderte physikalische Beschaffenheit (der Thon verliert durch mässiges Brennen seine plastische Beschaffenheit, welche der Bodenbearbeitung hinderlich ist) und auf das Löslichwerden einiger Pflanzennährstoffe, welche der Kalk in der Glühhitze aus den schwer zersetzbaren Silicaten verdrängt, zurückgeführt werden. Auch die letztere Wirkung steht völlig fest, denn sie konnte vorzüglich für Kali wiederholt analytisch nachgewiesen werden.*) In welchen Fällen aber nun ein solches Verfahren von Nutzen ist, lässt sich allgemein gar nicht beantworten. Dies ist natürlich davon abhängig, ob die geschilderten Vortheile überwogen werden von den nicht zu vermeidenden Nachtheilen, unter denen der Verlust des Stickstoffgehalts des gebrannten Bodens die erste Stelle einnehmen wird, ob ferner die aufgewendeten Kosten und die Arbeit im Verhältniss zu den wirklich erlangten Erfolgen stehen.

Die *Brache*, welche in einem längeren oder kürzeren Ruhenlassen eines Grundstücks von der Pflanzenproduktion bei gleichzeitiger Bodenbearbeitung besteht, kann in ihrem physischen Erfolg leicht aus den Gesichtspunkten verstanden werden, welche wir seiner Zeit bei der Betrachtung der Entstehung der Ackererde gewonnen haben. Die noch unverwitterten Mineraltrümmer erleiden in einer solchen Ruheperiode gerade wie sonst eine Zersetzung, wichtige Pflanzennährstoffe werden verfügbar, weil sie aber nicht von der Vegetation in Anspruch genommen werden, sammeln sie sich an und dienen so zur Erhöhung der Fruchtbarkeit. Stickstoffhaltige Pflanzenreste verwesen und bilden salpetersaure Salze; und dergleichen Wirkungen sind noch mehrere mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit anzunehmen.

Daneben verfolgt aber der Landwirth mit der Brache noch ganz andere, unserer Darstellung sehr ferne liegende Zwecke, wie das Reinigen des Ackers von Unkräutern u. a. m.

Diese wenigen Andeutungen über jene Methoden müssen für unsere Zwecke genügen.

---

*) Vergl. die analytischen Belege bei Völcker: Journ. of England. V. 12. p. 496; V. 18. p. 342 und Heiden: Düngerlehre II. p. 542—45.

Neununddreissigste Vorlesung.

Die Düngung vom wirthschaftlichen Standpunkte aus. — Das Düngerkapital und die wirthschaftlichen Gesetze seiner Verwendung.

Am Schlusse der letzten Vorlesung wurde ausgesprochen, dass der *rein physische Theil* unserer Aufgabe beendet sei, und damit ist zugleich gesagt, dass wir mit den Gegenständen, welche nach den herrschenden Begriffen in's Gebiet der Agrikulturchemie gehören, abgeschlossen haben. Allein wir haben schon in der Einleitung zu diesen Vorträgen hervorgehoben, dass wir uns mit diesem Abschluss nicht begnügen würden, dass wir vielmehr, um zur Beantwortung einiger der wichtigsten Fragen auf dem Gebiete des Feldbaus, welche zudem gerade jetzt Tagesfragen sind, die nöthige Befähigung zu besitzen, noch einige Gesichtspunkte aus einer ganz anderen Disciplin berücksichtigen müssen, — aus einer Disciplin, die nach der üblichen Arbeitstheilung der Wissenschaften als den Naturwissenschaften oder gar speziell der Chemie sehr ferne stehend angesehen wird. Wir haben Dies nun einzuschlagende Verfahren, welches von dem Standpunkt einer pedantischen Kastenordnung der Wissenschaften als geradezu unverzeihlich erscheinen müsste, einfach mit Zweckmässigkeitsgründen, welche wir in allen angewandten Wissenschaften als leitendes Princip zu betrachten haben, entschuldigt, und ich hoffe, dass die Resultate, die wir auf diese Weise erlangen werden, bei einem Jeden dessgleichen diese Entschuldigung erwerben werden.

Die wissenschaftliche Disciplin, welche wir nun um ihren Beistand ersuchen, ist die *Volkswirthschaftslehre* und die Nothwendigkeit der Berücksichtigung der von ihr geförderten Gesetze ergibt sich aus dem Umstand, dass die praktische Landwirthschaft ein Gewerbe ist, dessen Einträglichkeit eben wie die eines jeden andern Gewerbes nicht allein abhängig ist von den physischen Erfolgen irgend einer Operation, sondern in ebenso hohem Grade *von dem wirthschaftlichen Werthe dieser Erfolge im Vergleich zu der Mühseligkeit und Kostspieligkeit der vorgenommenen Operation.* Wenn wir z. B. einen Fall aus der uns am Nächsten liegenden landwirthschaftlichen Massregel, der Düngung wählen, so ist ersichtlich, dass der rein physische Erfolg einer solchen Operation, die Lieferung eines Mehrertrags, mit deren Feststellung sich sonst die Agrikulturchemie allein beschäftigt, nicht entscheidend sein kann für die wirthschaftliche Richtigkeit jener. Der Mehrertrag ist freilich eine nothwendige Voraussetzung für die Rentabilität (welche ein Masstab ist für die wirthschaftliche Richtigkeit einer Operation) einer Düngung, aber *nicht jeder Mehrertrag ist ein rentabler.* Hierzu ist vielmehr nöthig, dass die verwendete Mühe und die Kosten in einem (nach dem üblichen Zinsfuss) genau festzustellenden Verhältnisse zu dem Preise des Mehrertrags stehen.

Verzichtet der Agrikulturchemiker auf Berücksichtigung dieser Verhältnisse, so ist es ihm niemals möglich, einen in der Praxis direkt brauchbaren Rathschlag zu geben, denn der bewirkte Mehrertrag, über den das Studium der physischen Produktionsgesetze höchstens Aufschluss geben kann, beweist Nichts für die Rentabilität der Düngung.

Die Vernachlässigung dieser so auf der Hand liegenden Verhältnisse hat in der That unsere Agrikulturchemiker zu manchem praktischen Missgriff verleitet, und wir werden bald von einer grossen Irrlehre zu berichten haben, deren hartnäckiger Bestand lediglich der einseitig naturwissenschaftlichen Beurtheilung der einschlägigen Fragen, der einseitig naturwissenschaftlichen Bildung derjenigen, welche sich zu ihrer Beurtheilung anschickten, zugeschrieben werden muss. Ja diese einseitige Betrachtungsweise hat bis in die Lehrbücher der praktischen Landwirthschaft hinein ihre unheilvollen Erfolge geltend gemacht. Wird ja doch in vielen dieser Lehrbücher als Zweck der Landwirthschaft oder speziell des Pflanzenbaus bezeichnet: auf einem Grundstücke die *möglichst grosse Menge von Produkten zu erzeugen,* was offenbar grundfalsch ist, und dessen handgreifliche Unrichtigkeit höchstens in einer intensiven Periode der Landwirthschaft eine Zeit lang übersehen werden kann.

Wenn wir indessen von unsern wirthschaftlichen Betrachtungen irgend einen Nutzen erhoffen wollen, so müssen wir zuerst es unternehmen, die in der Volkswirthschaftslehre in Bezug auf die Faktoren der Pflanzenproduktion üblichen Ausdrücke in die klarere naturwissenschaftliche Terminologie zu übersetzen.

Man unterscheidet in jener Wissenschaft für die landwirthschaftliche Pflanzenproduktion mehrere streng von einander geschiedene *Produktionsfaktoren*: *„Grundstücke,“ „Kapital“* und *„Menschenarbeit“*. Es ist indessen in dieser Wissenschaft*) längst erkannt, dass der Produktionsfaktor *„Grundstücke“* eine grössere Anzahl von Bedingungen des Pflanzenwuchses in sich einschliesst.

Wir haben nun einfach die von uns erkannten Vegetationsbedingungen zu rekapituliren und zuzusehen, in welcher Weise und Gruppirung sie in diesen nationalökonomischen Produktionsfaktoren enthalten sind, denn wir wissen mit Bestimmtheit im Voraus, dass es keine Produktionsfaktoren geben kann, die ausserhalb der physischen Vegetationsbedingungen, welche letztere wir sammt und sonders kennen gelernt haben, liegen.

Die grünen phanerogamen Pflanzen, unter die unsere Kulturgewächse allesammt gehören, haben, wie früher ausführlich dargelegt, zu ihrem Gedeihen nothwendig:

1) gewisse Stoffe, nemlich: Wasser **), Kohlensäure **), Stickstoff ***) (in Form

---

*) Roscher schreibt in Bezug auf diesen Gegenstand in seinen „Grundlagen der Nationalökonomie“ §. 35 Folgendes:

„In Bezug auf die landwirthschaftliche Produktivität eines Grundstücks sollte man wohl dessen Tragfähigkeit, Baufähigkeit und unmittelbare Nährfähigkeit für Pflanzen unterscheiden. Die Pflanze wächst, indem sie unter dem Einflusse von Wasser und Sonne einen Theil ihrer Elemente der Atmosphäre, einen andern Theil dem Erdreich entnimmt. Während nun die Luft und Sonne, in den meisten Klimaten auch das Wasser, vollkommen freie, unerschöpfliche Güter sind, muss der im Boden gegebene Vorrath von Pflanzennahrung an Erschöpfbarkeit und Anneigungsfähigkeit als Analogon der Kohlenlager, Erzlager u. s. w., die in bergmännischen Grundstücken vorkommen, betrachtet werden.“

In diesen Sätzen ist schon die Verschiedenartigkeit der in den „Grundstücken“ enthaltenen Vegetationsbedingungen, von welchen die Produktivität jener abhängig ist, angedeutet.

**) Vergl. die erste Vorlesung.

***) Vergl. die dreizehnte Vorlesung.

einer beschränkten Anzahl von Verbindungen), Sauerstoff*) und eine grössere Reihe von sogenannten Aschenbestandtheilen**);

2) gewisse andere Bedingungen, für die es schwieriger ist, einen geeigneten Collektivnamen ausfindig zu machen, z. B. eine eigenthümliche mechanische Constitution der Ackererde, wie sie zur Ausbildung der Wurzeln erforderlich ist, ausserdem eine gewisse Temperatur***), die sich nur innerhalb zweier mehr oder weniger engen Grenzen auf- und abwärts bewegen darf etc.

3) Endlich bedürfen jene zur Vollendung ihrer innern chemischen Arbeiten einer Kraftquelle, des Sonnenlichts †). — Durch das gleichzeitige Vorhandensein dieser Bedingungen auf einem Grundstück erhält dasselbe erst seinen Bauwerth.

Unsere erste Aufgabe wird nun sein, die einzelnen als nothwendig erkannten Bedingungen des Pflanzenwachsthums darauf zu untersuchen, ob sie *freie Güter* sind, d. h. ob dieselben aus irgend einem Grunde zur Besitzergreifung durch den einzelnen Wirthschaftenden unfähig sind. Wir werden mit Sicherheit schliessen können, dass diejenigen Vegetationsbedingungen, die nicht aneignungsfähig sind, oder die in verhältnissmässig unbegrenzter Menge zur Verfügung stehen, nicht auf den Preis der erzielten Produkte einzuwirken vermögen ††) und darum keine Bestandtheile der „Produktionsfaktoren" im Sinn der Volkswirthschaft sein können.

Wir werden dann zu untersuchen haben, in welcher Weise sich diejenigen Bedingungen der Pflanzenproduktion, von denen Besitz ergriffen werden kann und die nicht in unbegrenzter Menge zur Verfügung stehen, die also keine freien Güter sind, zu dem Produktionsfaktor „Grundstücke" gruppiren. Schliesslich werden wir zusehen, auf welche jener Bedingungen die Menschenhand vermehrend einzuwirken vermag. Diese Vegetationsbedingungen werden dann auch die beiden anderen Produktionsfaktoren „Menschenarbeit" und „Kapital" zusammensetzen müssen.

Man betrachtet in der Volkswirthschaftslehre die Bestandtheile der Atmosphäre, die Wärme und das Licht als freie Güter, auf deren Vorhandensein in den geeigneten Mengen die Beschaffenheit eines käuflichen Grundstücks keinen Einfluss auszuüben vermag, von denen also durch den Kaufakt nicht Besitz ergriffen werden kann. Diese Anschauungsweise ist jedoch in Bezug auf manche dieser Bestandtheile und Eigenschaften völlig unbegründet.

Streng genommen ist der *Sauerstoff* der Luft das einzige wirklich freie Gut unter der grossen Reihe von Bedingungen, die zur Pflanzenproduktion unerlässlich sind.

Die Kohlensäure, deren die grüne Pflanze zur Produktion von organischer Substanz bedarf, ist Dies freilich theilweise (soweit sie der Atmosphäre entnommen

---

*) Vergl. die siebente Vorlesung.

**) Vergl. die vierzehnte Vorlesung.

***) Vergl. die zweiundzwanzigste Vorlesung.

†) Vergl. die zweite und dritte Vorlesung.

††) Die letzteren desshalb nicht, weil von ihrer Menge die Höhe der Produktion niemals abhängig sein kann, daher sie durch die rohe Empirie gar nicht als Produktionsbedingungen erkannt werden; die ersteren nicht, weil sie durch keinerlei menschliche Vorrichtung zu einer grösseren Betheiligung an der Produktion veranlasst werden können.

wird) auch, theilweise aber in ihrer für die Pflanze zur Verfügung stehenden Menge von der Beschaffenheit des Bodens abhängig, so dass z. B. ein reichlich Kohlensäure-entwickelnder Boden lediglich durch diese Eigenschaft die Pflanzenproduktion zu steigern vermag.

Der Kohlensäure reiht sich in dieser Hinsicht auf's Engste der *gebundene Stickstoff* (Ammoniak- oder salpetersaure Salze) an, der theilweise direkt aus der Atmosphäre in die Pflanze zu gelangen scheint, theilweise mit dem Regenwasser den Weg durch den Boden macht, in seiner Ansammlung mithin von der Beschaffenheit (Absorptionsfähigkeit *) des Bodens abhängig sein muss, theilweise endlich in seiner zur Verfügung stehenden Menge durch den Düngungsstand (natürlichen oder künstlichen) des Bodens bedingt ist. Also auch dieser Nährstoff gehört nur theilweise zu den freien Gütern und noch in weit geringerem Verhältniss als die Kohlensäure, da ein ergiebiges Wachsthum unserer Kulturgewächse im Allgemeinen möglich ist ohne Kohlensäuredüngung, nicht aber ohne Stickstoffdüngung**). In der That ist auch der Stickstoff in Bezug auf Pflanzenernährung weit seltener als die Kohlensäure als freies Gut aufgefasst worden. ***).

Das Wasser, das wir sonst im wirthschaftlichen Leben mit nur wenig Ausnahmen als ein freies Gut zu betrachten gewöhnt sind, ist kein solches als Bedingung des Gedeihens der Feldfrüchte. Das Verhalten eines Grundstücks zum Wasser — ganz abgesehen von dessen Lage in einer wasserreicheren oder wasserärmeren Gegend — wie z. B. die Eigenschaft, gefallenes Wasser schneller oder langsamer durchzulassen, verdunsten zu lassen, mehr oder weniger Wasser durch Verdichtung aus der Atmosphäre sich anzueignen etc. †), vermag auf dessen Werth in hohem Grade einzuwirken. Dies liegt freilich weniger daran, dass das Wasser etwa in diesen Fällen nur in beschränkten Quantitäten zu Gebote steht, sondern ist einfach darin begründet, dass die (im Verhältniss zu einer Menge technischer Betriebe und z. B. zur Thierproduktion) doch immerhin sehr extensive Produktion von Feldfrüchten keinen Arbeitsaufwand zur Regulirung der auf das Pflanzenleben am Günstigsten wirkenden Wassermenge erlaubt. Mithin erlangt das Verhalten eines Grundstücks zum Wasser einen positiven oder negativen Werth, weil Transportkosten des Wassers (sei es nun vom Acker weg oder auf den Acker hin) je nach der Beschaffenheit des Ackers bestritten werden müssten oder erspart werden können. Wie sehr dergleichen Verhalten dem Wasser gegenüber auf den Werth eines Stück Landes einzuwirken vermag, ersieht man am Deutlichsten daraus, dass Meliorationskapitalien, die blos zur Regulirung jenes Verhaltens gegen Wasser verwandt werden (Drainage, manche Bewässerungsanlagen) im Stande sind, den Grundwerth sehr bedeutend zu steigern.

Von Stoffen, die ausserdem noch zur Ernährung der Pflanzen nothwendig sind, bleiben uns noch die *Aschenbestandtheile* zur Besprechung übrig. Die Aschenbe-

---

*) Vergl. die achtzehnte und neunzehnte Vorlesung.

**) I. Theil, p. 193.

***) Eigentlich nur von Liebig, wenn er vom Stickstoff kurzweg als einem atmosphärischen Nahrungsmittel sprach, und auch von diesem nicht in consequenter Weise.

†) Vergl. die einunddreissigste Vorlesung.

standtheile sind wohl nur von ganz Unwissenden*) als freie Güter betrachtet worden; sie bedingen ja mit den andern schon besprochenen im Boden vorkommenden Nährstoffen im Wesentlichen den Werth unserer künstlichen und natürlichen Dünger.

Das Verhalten des Bodens zur *Wärme,* die einer auf ihm wachsenden Pflanze zu Gute kommt, ist nicht unähnlich dessen Verhalten zum Wasser. Die Wärme kann zwischen den Temperaturgrenzen, innerhalb deren sie in der Landwirthschaft als Fruchtbarkeitsbedingung angesehen werden muss, nicht als freies Gut aufgefasst werden, da dieselbe in allen Fällen mit dem Boden aneignungsfähig ist. Verschiedene Temperaturen sind für das Gedeihen der Pflanzen verschieden zuträglich, und diejenigen Grundstücke, die durch ihre Lage in gewissen Klimaten und geographischen Breiten, durch Neigung gegen den Stand der Sonne, durch dunkle Farbe und in Folge dessen Absorptionsfähigkeit von Wärme, oder auch durch andere physikalische Eigenschaften**) jener günstigsten Temperatur näher kommen als andere, sonst gleich beschaffene, haben einen grösseren Werth als diese***).

Von Bedingungen, die noch sonst zur Pflanzenproduktion erforderlich sind, wäre ausser einigen schwer zu definirenden, die in ihrer Gesammtheit einen Theil Dessen ausmachen, was man mit dem Namen „physikalische Eigenschaften der Ackererde" zu bezeichnen pflegt, das Sonnenlicht noch zu erledigen, Die physikalischen Eigenschaften der Ackererde sind natürlich mit dem Boden aneignungsfähig und keine freien Güter, wie wir eben schon bei Betrachtung einiger derselben (Verhalten gegen Wasser und Temperatur) gesehen haben.

Einer etwas umfassenderen Besprechung bedarf hier die so wichtige Bedingung des Pflanzenwuchses *„das Licht"*. Die leuchtenden Sonnenstrahlen sind die einzige für die Pflanzenwelt zur Verfügung stehende Kraftquelle zur Leistung der in der chlorophyllhaltigen Zelle sich vollziehenden chemischen Arbeit, die identisch ist mit der Produktion von organischer Substanz.

Es tritt zunächst die Frage an uns heran, ob das Sonnenlicht, dem die früher so ausführlich erläuterte Bedeutung für das Leben der grünen Pflanze zukommt, als ein wirthschaftlich freies Gut zu betrachten ist. Wir müssen diese Frage entschieden in dem umgekehrten Sinne, als Dies bisher von Seiten der Volkswirthschaftslehre geschehen ist, beantworten. Es ist völlig unzulässig, Luft und Licht, als zugehörig zum freien Gut der Atmosphäre, in eine Kategorie zu werfen und selbst als freie Güter zu betrachten. Wenn wir an irgend einer Stelle der Atmosphäre eine

---

*) Vergl. z. B. Victor Jacobi. „Freiherr von Liebig u. s. w." Leipzig 1863. p. 60.

**) Vergl. die dreissigste Vorlesung.

***) Es ist für unsere Betrachtungen ziemlich gleichgültig, dass es bei einem Grundstück, das in einer wasserarmen Gegend liegt, oder dessen Erde Wasser nur in sehr geringem Grade festzuhalten vermag, die nicht zu überwindenden Transportkosten des Wassers sind, das ja doch in einiger Entfernung stets kostenlos zu haben ist, die das Grundstück entwerthen, während die Werthlosigkeit eines solchen in einer kalten Gegend oder Jahreszeit dem wirklichen Mangel an Wärme, die überhaupt nur da, wo sie als Eigenschaft von Körpern auftritt, die selbst nicht aneignungsfähig sind, als freies Gut betrachtet werden kann, zuzuschreiben ist; denn wo ein freies Gut mit Kosten transportirt werden muss, da hört es eben auf, ein freies Gut zu sein.

gewisse Quantität Luft wegfangen und daselbst die nützlichen Eigenschaften derselben in Anspruch nehmen und consumiren, z. B. den Sauerstoff zur Verbrennung verwenden, so strömt nach dem Ort des Verbrauchs sogleich in Folge der Diffusion neue Luft nach, und wenn auch Jemand nur oberhalb seines eigenen Bodens Anstalten machen darf zum Consum dieser Luft, so stehen ihm doch beliebig grosse Mengen dieses Guts zu Gebote, die ihm aus der über dem Besitzthum der Nachbarn ruhenden Luftschicht und von da weiterhin stetig zufliessen, ohne dass die Nachbarn oder alle Uebrigen, denen durch jenen Eingriff Luft entzogen wird, ein solches Verfahren hindern können. Diese Eigenschaft der Luft, die auch das Wasser in vielen Fällen zeigt, verhindert offenbar deren Vertheilung an einzelne Besitzer, wie sie für den festen Grund und Boden ausführbar ist, und dies Verhalten, sowie die unerschöpfliche Menge der Luft, stempelt sie zum Gemeingut, zum freien Gut*).

Anders ist es mit dem Licht. Der Photograph kann nicht das Licht, das auf das Grundstück seines Nachbars fällt, für seine Zwecke benutzen, es sei denn, dass er eine Reflexvorrichtung auf das Dach des Nachbarn anbringt, wozu er doch dessen Einwilligung, die völlige Abtretung dieses Guts bedarf; denn der Nachbar kann ja ebenfalls Photograph sein und das Licht wirthschaftlich ausnutzen wollen. Offenbar stempeln also die physikalischen Gesetze, die den Zufluss des Lichts regeln, dieses zu einem Gut von vollkommener Aneignungsfähigkeit, und es ist gewiss ein Irrthum, wenn z. B. Roscher**) glaubt, dass der Photograph nicht mit Erfolg das zu seiner Arbeit nothwendige Licht auf die Rechnung seiner Kunden setzen könne. Ueberall, wo wie z. B. in grossen Städten das Licht nicht in so überflüssigen Mengen vorhanden ist, dass hierdurch eine Entwerthung dieses Guts eintritt, wird der Preis für dessen Nutzniessung in den Produktionskosten eines photographischen Bildes enthalten sein, und nur die Geringfügigkeit des Preises des Lichts gegenüber dem der andern photographischen Agenzien verführt zur Begehung jenes Irrthums.

Das Licht der Sonne ist also ein völlig aneignungsfähiger Gegenstand, und es ist in der That unschwer, sich über die Form dieser Aneignung klar zu werden. Mit dem Grund und Boden wird offenbar auch das auf denselben fallende Licht erworben. Man erhält mit der Aneignung desselben das Recht zur Benutzung der Sonnenstrahlen, mit dem Eigenthum eines Kapitals von nützlichen Stoffen, zugleich eine regelmässige Rente von Kräften, und nur, wer seinen auf diese Weise erworbenen Antheil an Kräften nicht ausnutzt, der verliert erst wieder dieses Besitzthum, grossentheils durch Ausstrahlung in den Weltraum.

Es geht aus dem Gesagten unzweifelhaft hervor, dass die Sonnenstrahlen, deren Antheil an der Pflanzenproduktion wir kennen gelernt haben, als ein Gut, das mit dem zu dieser Produktion dienenden Grundstück aneignungsfähig ist, einen Bestandtheil des Werths eines solchen Grundstücks ausmachen müssen.

Es ist unerlässlich, um den Einfluss dieses Bestandtheils auf den genannten Werth zu bestimmen, zunächst ein Mass für denselben, eine Relation zwischen der Grösse des

---

*) Es bestehen nur wenig Vorkehrungen, die den Gemeinbesitz der Luft zu beschränken suchen, und diese beziehen sich sämmtlich auf Verpestung der Luft durch Fabriketablissements, also nicht auf Entzug werthvoller Luftbestandtheile, sondern auf Zuführung positiv schädlicher Bestandtheile.

**) Grundlage der Nationalökonomie p. 52.

Grundstücks und der Menge der auf dasselbe fallenden Strahlen ausfindig zu machen. — Für gleiche geographische Breite und die gleiche durchschnittliche Bewölkung des Himmels und überhaupt gleiche atmosphärische Absorption des Lichts, also jedenfalls für zwei nahe beisammen liegende Grundstücke ist das Flächenmass der Projektion eines Grundstücks auf eine zu dem Strahl der Mittagsonne senkrechte Ebene zugleich das Mass für das demselben zu Gebote stehende Quantum von Licht oder wirksamer Strahlen.

Für Felder in der Ebene oder von gleichartiger und gleichgrosser Neigung kann also, wenn sie nur unter einander verglichen werden, einfach das Flächenmass des Grundstücks selbst (da hier die Projektion nur proportionale Aenderungen herbeiführt) als ein solches Mass für das demselben zu Gebote stehende Licht benutzt werden, selbstverständlich vorausgesetzt, dass die Grundstücke in einer und derselben Gegend liegen.

Hierin liegt nun der Grund, dass das Licht, welches doch einen Bestandtheil des Werths eines Grundstücks ausmacht, nicht in dem Preis desselben erkannt wird, indem dieser Bestandtheil für Felder von gleicher Lage proportional mit dem gebräuchlichen Flächenmasse, auf das sich die Preise der Felder beziehen, in demselben enthalten ist. In den Gebirgsgegenden tritt dagegen jener Bestandtheil hervor, da hier je nach Sonnenseite oder Schattenseite die Projektion verschieden grosse Werthe ergibt. Doch kommt hierbei in erster Linie die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen mit in's Spiel*), wie aus unsern Ausführungen in der dreiundzwanzigsten Vorlesung zur Genüge hervorgeht.

---

*) Auch noch andere Betrachtungen führen uns zu dem Resultate, dass die einem Grundstück zu Gebote stehenden Mengen von Sonnenstrahlen dessen Werth und Preis mit bedingen. Ein Ackerfeld, dessen Boden auf zwei Fuss Tiefe in dem Zustand sich befindet, wie er zur Vegetation tauglich ist, wird niemals den doppelten Werth haben, als ein ebensolches Feld, das jenen Zustand nur auf einen Fuss Tiefe besitzt und wird sich in seiner Produktivität wesentlich unterscheiden von zwei Feldern in letzterem Zustand (vgl. Roscher, a. a. O. p. 58 und J. S. Mill, Principles etc. I. Ch. 12), obgleich in jenem genau dieselbe Menge von Stoffen, aus denen die Pflanze ihren Leib aufbaut, enthalten ist, und auch die Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse die gleichen sind. Der enorme in die Augen springende Unterschied ist hier wesentlich bedingt durch die verschiedenen in beiden Fällen zu Gebote stehenden Mengen Licht. — Doch ist dies Beispiel manches Einwurfs fähig, namentlich wegen des verschieden grossen und verschieden gestalteten Raums, der in beiden Fällen den Pflanzen zur Ausbildung ihrer ober- und unterirdischen Organe zur Verfügung steht, vielleicht auch wegen des Unterschieds in den in einer gegebenen Zeit verfügbaren Mengen atmosphärischer Nahrungsmittel. — Jenes wird daher zweckmässig ersetzt dadurch, dass man zeigt, dass es unmöglich ist, auf irgend ein Ackerfeld mit Erfolg ein zweites Stockwerk (ein Gedanke, auf den man allerdings wegen der Kostspieligkeit eines solchen Unternehmens nur bei einer sehr grossen Intensität des Feldbaues gelangen könnte) aufzusetzen, das aus der nemlichen Ackerkrume gebildet ist, eine Vorrichtung, die ohne die geringste Aenderung in einer der übrigen Bedingungen des Pflanzenwachsthums bewirken zu müssen, unfehlbar die für landwirthschaftliche Zwecke vollständige Entwerthung des unten gelegenen Feldes zur Folge haben würde, einfach desshalb, weil eine Vegetationsbedingung (das Licht) ausgeschlossen ist.

Durch diese Betrachtung wird offenbar der Antheil des zur Pflanzenproduktion unentbehrlichen Lichts an dem Werth der baufähigen Grundstücke anschaulich gemacht.

Hiermit wäre aber nun die Aufsuchung der naturwissenschaftlich einfachen Bedingungen des Pflanzenwuchses und die Betrachtung über die Aneignungsfähigkeit der sie darstellenden Stoffe, Zustände und Kräfte als beendet anzusehen. Die Mehrzahl derselben erwies sich als mehr oder weniger vollkommen aneignungsfähig mit dem Grund und Boden. Diese bilden in ihrer Zusammengehörigkeit den nationalökonomischen Produktionsfaktor „Grundstücke". In diesem Produktionsfaktor sind sämmtliche Bedingungen des Pflanzenwachsthum vorhanden, wenn auch häufig in einem ungünstigen Verhältniss. Darauf beruht die Produktionsfähigkeit eines Stück Landes ohne Zuhülfenahme eines der andern Produktionsfaktoren „Menschenarbeit" und „Kapital". Die Möglichkeit einer lohnenden Anwendung dieser beiden andern Produktionsfaktoren beruht dagegen auf der Möglichkeit der Herstellung eines günstigeren Verhältnisses zwischen den einzelnen Bedingungen des Pflanzenwuchses.

Wir erinnern nun an ein schon früher hervorgehobenes Gesetz*) der Pflanzenproduktion, das diese jedoch mit vielen andern Produtionen gemeinschaftlich hat, und welches alle jene einzelnen Produktionsbedingungen gemeinschaftlich betrifft, und Etwas ganz Allgemeines über deren günstigstes Zusammenwirken aussagt. Dasselbe ist geeignet, die Art der Zusammensetzung des Bodenwerthes aus den einzelnen aneignungsfähigen Fruchtbarkeitsbedingungen noch mehr zu verhüllen.

Es gibt ein Verhältniss, in dem die Vegetationsbedingungen mit dem grössten Erfolg zusammenwirken, d. h. die relativ grösste Menge von Pflanzensubstanz erzeugen**). Von diesem Verhältniss ausgehend vermag die einseitige Vermehrung irgend einer jener Bedingungen keinen Mehrertrag zu bewirken, sondern nur die gleichzeitige Vermehrung aller. Dieses Gesetz lässt sich auch so ausdrücken, dass man sagt: Die Produktion ist abhängig von der im Minimum vorhandenen Produktionsbedingung, sie ist derselben proportional; wobei man dann stillschweigend die relativen Werthe jener Bedingungen, in denen sie am Günstigsten zusammenwirken, als ihre resp. Einheiten bezeichnet.

Es ist dieses Produktionsgesetz ein Gesetz sehr allgemeiner Natur und im Grunde identisch mit dem Satze der Unentbehrlichkeit der einzelnen Produktionsbedingungen. Eine jede Erscheinung, die durch das Zusammenwirken mehrerer nothwendiger aber von einander unabhängiger Bedingungen zu Stande kommt, richtet sich in ihrer Intensität oder der Häufigkeit ihres Eintritts nach der im Minimum vorhandenen Bedingung (in dem eben erläuterten Sinn). — In einem speziellen Fall, für ein-

---

*) Vergl. die siebzehnte Vorlesung p. 280.

**) Die Ernte ist unleugbar eine Funktion der einzelnen zu ihrem Zustandekommen nothwendigen Vegetationsbedingungen; sie ist aber weder ein Produkt noch eine Summe derselben (die Möglichkeit der Formulirung jener Bedingungen in mit den Erntegewichten vergleichbaren Zahlen vorausgesetzt). Wird eine der Bedingungen gleich Null, so wird die Ernte ebenfalls gleich Null. Wächst jedoch eine einzelne jener Bedingungen allein, so wächst die Ernte im Allgemeinen nicht mit. Nur wenn alle gemeinschaftlich wachsen, wächst unter allen Umständen die Ernte mit.

Aus diesen Verhältnissen ergibt sich, dass die einzelnen Fruchtbarkeitsbedingungen, die man auch wohl als „Produktionsfaktoren" im naturwissenschaftlichen Sinn des Wortes bezeichnen könnte, keine Faktoren nach der Ausdrucksweise der Mathematik sind, ebensowenig wie die Ernte nach diesem Verhalten sich als eine Summe dieser Bedingungen darstellt.

zelne Bedingungen des Pflanzenwachsthums wurde dieses Gesetz von **Liebig***) hervorgehoben und seitdem als „das Gesetz des Minimums“ häufig in Anwendung gebracht.

Alle Bedingungen, die zu jener im Minimum vorhandenen Bedingung in einem höhern Verhältniss, als dem des günstigsten Zusammenwirkens vorhanden sind, bleiben für das Zustandekommen der resultirenden Erscheinung völlig unbenutzt.

Das Liebig'sche Gesetz des Minimums berücksichtigt indessen nur einen Theil der Bedingungen des Pflanzenwachsthums (die Nährstoffe); die Sonnenstrahlen werden bei Entwickelung jener Gesetzmässigkeiten als Produktionsbedingungen nicht einmal erwähnt. Der Liebig'sche Satz**), dass die Entwicklung der Pflanze innerhalb gewisser Grenzen im geraden Verhältnisse zu der Masse der Nährstoffe und im umgekehrten Verhältniss zu den Widerständen, die ihre Wirkung hindern, stände, führt, abgesehen von der Einseitigkeit der auszudrückenden Thatsache, zu einer Gleichung***), die bei den einfachsten mathematischen Operationen ad absurdum führt.

Die mögliche Höhe der Ernten bildet die physische Basis für den Werth des Bodens. Die mögliche Höhe der Ernten ist nach dem eben entwickelten Produktionsgesetz, das wir auch in seiner verallgemeinerten Form als das „Gesetz des Minimums“ bezeichnen wollen, abhängig von den im geringsten Masse vorhandenen Produktionsbedingungen, deren beliebige Vermehrung auf einem gegebenen Grundstück nicht wirthschaftlich ausführbar ist.

Wir werden also weiter zu betrachten haben, welche von den Bedingungen, *die möglicher Weise im Minimum vorhanden sein können*, einer willkürlichen und wirthschaftlich ausführbaren Vermehrung durch Menschenhand fähig sind, welche nicht. *Nur die ersteren werden Bestandtheile der Produktionsfaktoren „Menschenarbeit“ und „Kapital“ sein können.*

Diejenigen Bedingungen des Pflanzenwuchses, die als freie Güter angesehen werden mussten, also der Sauerstoff der grösste Theil der Kohlensäure, eine kleine Menge des gebundenen Stickstoffs etc., bleiben selbstverständlich, da sie keine Bestandtheile der nationalökonomischen Produktionsfaktoren sind, von dieser Betrachtung völlig ausgeschlossen.

Das Licht nimmt als Vegetationsbedingung, wie wir sogleich sehen werden, hier eine ganz eigenthümliche Stellung ein, eine Stellung, deren Verkennen Veranlassung zu tiefgreifenden Irrthümern geworden ist. Das zur Pflanzenproduktion zur Verfügung stehende Sonnenlicht wird in einer und derselben Gegend gemessen durch das Flächenmass des Grundstücks selbst — eine gleichartige und gleichwerthige Neigung der Grundstücke gegen den Horizont vorausgesetzt — und ist so, obschon es bei

---

*) v. **Liebig**: Die Chemie in i. Anw. u. s. w. 1862. II. p. 223; Die Grundsätze der Agriculturchemie. 1855. p. 121.

**) Die Grundsätze der Agriculturchemie p. 26.

***) An einem Orte (Chemische Briefe 1865 p. 508) wählt **Liebig** zum Ausdruck dieses Verhaltens wirklich die Form einer Gleichung:

$$E = N - W,$$

wo E den Ertrag, N die im Boden vorhandenen Nahrungsstoffe und W die Widerstände bedeuten sollen, welche die Produktion hindern.

guten Boden- und Düngungsverhältnissen oft die im Minimum*) vorhandene Produktionsbedingung sein muss und so der Produktion durch seine beschränkte Menge eine Grenze zieht, beinahe niemals anders in den Bodenpreisen erkenntlich, als indem diese proportional mit der Fläche zu wachsen pflegen (wenn nemlich die andern Fruchtbarkeitsbedingungen gleichmässig in der Fläche vertheilt sind), was offenbar nicht der Fall sein könnte, wenn die Menge des zur Produktion dienenden Lichts in einem andern Verhältniss zur Bodenfläche stünde.

Bei der Möglichkeit des Vorhandenseins des Lichts im Minimum müssen wir unsere Betrachtung darauf ausdehnen, ob wir im Stande sind, dasselbe willkürlich durch wirthschaftlich ausführbare Massregeln auf einer gegebenen Bodenfläche zu vermehren. Es gibt nun streng genommen allerdings einige solcher Massregeln, doch von äusserst beschränkter Anwendbarkeit. Es sind hier etwa zu erwähnen, die Entwaldung, in Folge deren der Himmel durchschnittlich erheitert werden soll, — eine Massregel, die also nie für ein einzelnes Feld ausgeführt werden kann —, dann die Veränderung der Neigung einer Bodenfläche gegen die Sonne durch Abstechen und Auffüllen des Bodens (nur bei intensiver Weinkultur wirthschaftlich ausführbar), also Mittel von äusserst geringer Anwendbarkeit und Tragweite.

Bessere Mittel stehen uns nun allerdings zu Gebote für die mehr oder minder vollständige Ausnutzung dieser uns stätig zufliessenden, ein für allemal constanten Menge wirksamer Strahlen, Mittel, denen namentlich darum eine hohe wirthschaftliche Bedeutung zukommt, weil diejenigen Antheile des Lichts, die wir nicht für die Pflanzenproduktion auszunutzen verstehen, entweder durch Uebergang in Wärme oder gar durch Zurückstrahlung in den Weltraum für jene chemische Arbeit in der Pflanze unwiederbringlich verloren sind. Als solche Mittel haben wir anzusehen: Dichte des Bestandes, oft nur zu erzielen durch Anbau verschiedener Früchte unter einander, Vermeidung jeglicher, auch der Winter-Brache; kurz Mittel, die sämmtlich den Zweck haben, das Feld möglichst lange und vollständig mit einer assimilirenden Licht-ausnutzenden grünen Pflanzendecke zu bekleiden**).

Es gibt also einige wirksame Mittel, durch die es gelingt, die Menge des zur Pflanzenproduktion gelangenden Lichts zu steigern, wenn wir auch so gut wie keine Mittel besitzen, um die Menge des auf ein Grundstück fallenden Lichts in irgend einer Richtung abzuändern,

Dem Licht schliesst sich theilweise die Wärme in der eben erläuterten Bezieh-

---

*) Ergibt sich, wie später gezeigt wird, aus der eng beschränkten Produktionsfähigkeit eines Grundstücks.

**) In der That sehen wir nun auch solche Mittel angewandt, wenn das Licht unter den Vegetationsbedingungen im Minimum vorhanden ist, also bei Herstellung aller willkürlich vermehrbaren Bedingungen bei intensiver Bewirthschaftung, während diese Mittel unterbleiben, wenn der Betrieb auch sonst nicht intensiv genug ist, um die übrigen Vegetationsbedingungen über das Licht in's Uebergewicht gelangen zu lassen. Unter solchen Umständen sehen wir dann thatsächlich Winterbrache, Sommerbrache, undichten Bestand und dergl. eintreten, Betriebsmethoden, durch welche die Ausnutzung der vorhandenen Sonnenstrahlen herabgedrückt wird. Auch die Gründüngung gehört bei näherer Betrachtung hierher, denn sie bezweckt die Ueberführung der Vegetationsbedingung „Sonnenlicht“ in einige andere, spärlicher vorhandene Bedingungen — eine Ausdrucksweise, die hier gestattet sein möge.

ung an, insofern sie nemlich von der Bestrahlung durch die Sonne abhängig ist, während sie anderntheils in ihrer den Pflanzen zur Verfügung stehenden Menge von den Eigenschaften des Bodens bedingt wird, die wir ja häufig in wirksamer Weise abzuändern vermögen. Das bisher für das Licht Ausgesagte gilt also, wenn auch in zurücktretender Weise, für diejenigen Sonnenstrahlen, die in der Pflanze nicht zu chemischer Arbeit Verwendung finden, sondern durch Absorption in Wärme übergehen, und wir werden uns richtiger ausdrücken, wenn wir in Folgendem von den mit einem Grundstück aneignungsfähigen Sonnenstrahlen, auf deren Menge wir nicht einzuwirken vermögen, sprechen, nicht blos vom Sonnenlichte, da die nicht zur chemischen Arbeit verwendeten Strahlen auch in Betracht kommen.

Die übrigen mit den Grundstücken aneignungsfähigen Bedingungen des Pflanzenwuchses haben wir sammt und sonders einigermassen in der Hand, und es ist in vielen Fällen wirthschaftlich ausführbar und rentabel, dieselben zu vermehren oder abzuändern. Diese Bedingungen können desshalb Bestandtheile der Produktionsfaktoren „Kapital“ und „Menschenarbeit“ sein, und diejenigen wirthschaftlichen Massregeln, die den Zweck haben, dieselben in einer für die Pflanzenproduktion günstigen Richtung abzuändern, werden Düngung, Bodenbearbeitung, Melioration u. s. w. genannt.

Wir können unter diesen noch übrigen Fruchtbarkeitsbedingungen, die ein so überaus buntes Gemisch darstellen, unterscheiden zwischen zum Pflanzenwachsthum erforderlichen Stoffen und für dasselbe geeigneten Zuständen.

Letztere bezogen sich auf die Temperaturverhältnisse, denen die Pflanze in und über der Ackererde ausgesetzt ist, dann auf Bodeneigenschaften, die die Zufuhr der Nährstoffe reguliren, z. B. auf Verhalten des Bodens zum Wasser, dessen Lockerheit, Absorptionsfähigkeit etc., kurz Verhältnisse, die man häufig in ihrer Complicirtheit als „physikalische Beschaffenheit“ der Ackererde zusammenfasst.

Die physikalische Beschaffenheit eines Grundstückes kann zwar in mannichfacher, wenn auch nicht ganz beliebiger Weise durch die Menschenhand abgeändert werden. Es kann durch Aufbringen dunkler Substanzen*) auf das Verhalten eines Bodens gegen Wärme, durch Bodenbearbeitung und geeignete Düngung auf dessen Lockerheit, durch Drainiren auf dessen Durchlässigkeit eingewirkt werden — durch Menschenarbeit also und Kapital die physikalische Beschaffenheit gebessert werden.

In gleicher Weise und durchschnittlich mit weit grösserm Erfolg ist es möglich, durch wirthschaftliche Manipulationen auf das Vorhandensein der Stoffe, welche die Pflanze, um sich kräftig entwickeln zu können, im Boden in gewissen Mengen voraussetzt, hinzuwirken. Der wesentliche Zweck der Düngung liegt, wie wir gesehen haben, gerade in der Zufuhr dieser Nährstoffe, und das Kapital, das für Düngung verausgabt wird, bildet für weitaus die meisten Betriebsmethoden einen sehr ansehnlichen Bruchtheil des überhaupt zur landwirthschaftlichen Pflanzenproduktion verwendeten Kapitals.

Diese Bedingungen des Pflanzenwachsthums stehen also in Bezug auf die wirthschaftliche Möglichkeit ihrer Abänderung im krassesten Gegensatz zu jenen Beding-

---

*) Vergl. die dreissigste Vorlesung.

ungen, für deren Abänderung wir der Menschenhand keine irgendwie erhebliche Fähigkeit zugestehen konnten, zu den Sonnenstrahlen*).

Die Pflanzennährstoffe nun und auch alle andern Eigenthümlichkeiten des Bodens, auf die wir einzuwirken vermögen, lassen sich betrachten, gleichviel, ob sie im einzelnen Fall sich als natürliche Bodenbestandtheile ergeben oder ob sie nachgewiesener Massen künstlich zugeführt worden sind, als ein Kapital, mittelst dessen wir die Ausbeutung der in unabänderlicher Constanz einem Boden zufliessenden Sonnenstrahlen unternehmen. Diese Verwendung des Wortes Kapital bedarf jedoch einer kurzen näheren Erläuterung.

Zunächst ist offenbar physisch kein Unterschied zwischen den natürlich im Boden vorhandenen Pflanzennährstoffen und den künstlich durch Düngung hinzugebrachten. Beide verhalten sich in Hinsicht der Pflanzenproduktion völlig gleichwerthig, und die durch den Gebrauch der national-ökonomischen Produktionsfaktoren bewirkte Trennung dieser Nährstoffe je nach dem Ursprung, wodurch sie einmal einen Bestandtheil der natürlichen Bodenkraft, ein andermal des Betriebskapitals bilden, thut der wirklichen Sachlage augenscheinlich Zwang an**). Ein Gleiches gilt selbstverständlich für alle die physikalischen Eigenschaften des Bodens, die wir abzuändern fähig sind.

Dies eigenthümliche Verhalten rührt einfach daher, dass die Pflanzenproduktion eine Produktion ist, die schon ohne das Eingreifen des Menschen vor sich geht und nur durch weitere Zufuhr von Arbeit und Kapital gesteigert werden kann. Ein Boden kann desshalb eine Rente gewähren, auch ohne dass erheblich Kapital und Arbeit auf demselben Verwendung findet, und auch bei Verwendung dieser Produktionsfaktoren ist ein Theil des Ertrags nicht abzuleiten aus der Verwendung derselben. Gerade desshalb fand die Nationalökonomie Veranlassung, neben diesen beiden Faktoren der Pflanzenproduktion noch einen dritten zu unterscheiden, den sie als „Grundstücke" bezeichnete und welchen in einzelne Fruchtbarkeitsbedingungen zu zerlegen, wir uns zur Aufgabe gemacht hatten.

Diese Zerlegung wird uns nun dazu befähigen, zu entscheiden, warum dieser Faktor so hartnäckig vom Kapital getrennt wird, da er doch aneignungsfähig ist, einen Tauschwerth besitzt, warum man nicht einen Acker betrachtet, wie ein von der Natur errichtetes Fabrikgebäude, das mit den zu einer gewissen Produktion er-

---

*) In dieser einseitigen Möglichkeit der Vermehrung gewisser im Boden vorhandenen Bedingungen des Pflanzenwuchses durch Verwendung von Menschenarbeit und Kapital, während wir auf andere solcher Bedingungen durch Verwendung jener Produktionsfaktoren nicht einzuwirken vermögen, liegt der Grund für die längst bekannte Thatsache, dass es nicht möglich ist, durch beliebig grosse Intensivirung des Betriebs die Produktion von Pflanzensubstanz beliebig zu steigern, dass m. a. W. einer weiteren Verwendung von Arbeit und Kapital immer geringere Mehrproduktionen entsprechen.

**) Wenn man allerdings, wie Dies von Seiten der Nationalökonomie (vergl. Roscher: Die Grundlagen u. s. w. 1866. p. 73 und J. S. Mill: Grundsätze u. s. w. 1864. p. 43) geschieht, Kapital definirt als einen angesammelten Vorrath von Erzeugnissen früherer Produktion, soweit dieser Vorrath zu neuer Produktion verwendet wird, so dürfte die Bezeichnung der naturgemäss im Boden enthaltenen Pflanzennährstoffe als Kapital unpassend erscheinen. Indess lehrt unsere angestellte Betrachtung, wie wir gleich sehen werden, dass diese Nährstoffe (sowie jene Eigenschaften des Bodens, auf die der Mensch einzuwirken vermag) sich thatsächlich wie ein von Aussen zugeführtes Kapital verhalten.

förderlichen Rohstoffen schon versehen ist. Wir werden dann mit der Erledigung dieser Frage zu der Einsicht gelangen, dass ein Theil jenes Faktors „Grundstücke“ sich thatsächlich wie ein Kapital verhält.

Die im Boden enthaltenen Pflanzennährstoffe, sowie jene physikalischen Fruchtbarkeitsbedingungen verhalten sich genau wie ein solches Fabrikgebäude, das mit Rohstoffen naturgemäss versehen ist. Dieses könnte nun aber unbedenklich als Kapital betrachtet werden, gleichviel ob es durch Menschenarbeit hergestellt oder durch irgend ein Naturereigniss Entstehung genommen hätte*), und so sind wir nicht blos berechtigt, sondern sogar verpflichtet, den oben genannten Theil der durch ein Grundstück repräsentirten Fruchtbarkeitsbedingungen als ein Kapital zu betrachten, das zwar nicht seine Entstehung einer Arbeitsleistung verdankt, zu dessen Herstellung aber in ebenso zweckmässiger Vereinigung wohl eine entsprechende Arbeitsleistung nothwendig wäre**).

Diese kurze Betrachtung wird sicherlich genügen, um zu zeigen, dass es vielmehr diejenigen von uns aufgefundenen Bestandtheile des Produktionsfaktors „Grundstücke“ sind, auf deren Aenderung wir nicht oder nur in zurücktretender Weise einzuwirken vermögen, die jenen Produktionsfaktor nothwendig zu einem mit dem Kapital unvereinbaren Faktor stempeln. Diese Bestandtheile, die Sonnenstrahlen dürfen eben desshalb niemals als Kapital aufgefasst werden, weil sie nicht in beliebiger Menge zur Produktion herangezogen werden können.

Bei irgend einer Fabrikation, bei der nur Kapital und Arbeit zur Produktion nothwendig sind, können je nach Bedarf die einzelnen Bedingungen zur Hervorbringung des Produkts in beliebigen Verhältnissen zusammengebracht werden. Kein Grund ist vorhanden, dass eine Verdoppelung der Produktion die Produktionskosten auf mehr als das Doppelte steigern sollte. Wenn man dagegen bei der Pflanzenproduktion auch im Stande ist, alle übrigen Wachsthumsbedingungen durch Zufuhr von Kapital und Arbeit in's Unbegrenzte zu steigern, so ist Dies für die Sonnenstrahlen nur möglich durch Verdoppelung der bebauten Bodenfläche, d. h. jedenfalls von dem Zeitpunkt an, wo alles baufähige Land***) zur Pflanzenproduktion Verwendung findet, ist eine mit der Zufuhr von Kapital und Arbeit proportionale Mehrproduktion nicht mehr möglich. Hierdurch ist der Intensivirung des Feldbaues eine unüberschreitbare Grenze gesetzt, wie sie die Fabrikation im Allgemeinen nicht kennt†).

---

*) Die Auffindung einer mit fossilen Brennstoffen erfüllten Höhle, die sich zum Fabrikbetriebe eignete, wäre nicht einmal undenkbar.

**) Nennen wir doch auch eine in einem Berge unvermuthet vorgefundene Gold- oder Silberstufe ein Kapital, obgleich hier im einzelnen Fall zur Auffindung keine entsprechende Menge von Arbeit aufgewendet worden ist.

***) In Wahrheit aus hier noch nicht näher zu erörternden Gründen schon viel früher.

†) Es gibt nur ein Verhältniss, in dem die verschiedenen Vegetationsbedingungen mit dem grössten Erfolg zusammenwirken, und von dem ausgehend die Vermehrung einer Bedingung keinen Mehrertrag zu bewirken vermag. Wenn aber eine dieser Bedingungen sich gegenüber den andern diesem günstigen Verhältnisse nähert, so tritt hier eine Verwischung der Grenze der Art ein, dass nahe an derselben schon keine proportionale Aenderung des Mehrertrags mehr erfolgen kann. So vermag auch auf einem reichen Lande eine Düngung noch einen Mehrertrag zu bewirken, weil z. B. hier und da doch noch eine Stelle im Boden

So einfach die eben angestellte Betrachtung ist, so glaube ich doch bei der Wichtigkeit der resultirenden Sätze und bei der Unklarheit, die auf dem nationalökonomischen Gebiete hinsichtlich der Wirkungsweise der Produktionsfaktoren „äussere Natur“ und „Grundstücke“ herrscht, zu einigen weiteren Ausführungen berechtigt zu sein. — Denken wir uns einmal, es seien zur Pflanzenproduktion ausser freien Gütern, deren Berücksichtigung wir überhoben sind, nur Bedingungen nothwendig, die einer willkürlichen Vermehrung fähig sind, es seien zu derselben also keine Sonnenstrahlen, sondern nur ein gewisser Vorrath von Pflanzennährstoffen und sonst gewisse leicht herbeizuführende Bedingungen erforderlich. In welcher Weise würde alsdann der Boden, der eine gewisse Menge aller dieser nothwendigen Bedingungen in sich vereinigt, als Produktionsfaktor auftreten?

Ein Preis würde für die Benutzung des Bodens — wie jetzt — erst dann in Anspruch genommen werden können, wenn guter Boden in vortheilhafter Lage nicht mehr in beliebiger Menge zur Verfügung steht. Erst dann, wenn es nothwendig wäre, Boden von schlechterer Qualität oder in ungünstigerer Lage mit zu Hülfe zu nehmen, um den Bedarf an Pflanzenprodukten vollständig zu bestreiten, würde die Benutzung des bessern Landes einem natürlichen Monopol*) unterliegen und ein Preis für diese Benutzung gezahlt werden müssen. Man würde unter diesen (wie unter den bestehenden) Umständen also unterscheiden können zwischen einem Grundbesitzer, der nothwendig eine Rente erhalten muss, wenn er den ihm gehörenden Produktionsfaktor einem Andern zur Nutzniessung überlässt, einem Kapitalisten und Arbeitern, die alle drei Anspruch machen könnten auf einer Theilhaberschaft an den Feldprodukten.

Dennoch würden sich bei dieser Sachlage ganz durchgreifende Unterschiede für die Gruppirung der Produktionsfaktoren ergeben. — Der Faktor „Grundstücke“ wäre ja unserer Annahme nach künstlich herstellbar, was er in Wirklichkeit nicht ist. Man könnte lediglich durch Ankauf einer gewissen Menge Düngestoffe und durch Herstellung gewisser anderer nothwendigen Bedingungen vermittelst eines Aufwands von Kapital und Arbeit alle zur Pflanzenproduktion unentbehrlichen Erfordernisse an jedem beliebigen Orte beischaffen, Pflanzensubstanz produciren und mit dem Besitzer des Bodens concurriren. Ein Preis würde dem Besitzer des Bodens auch unter diesen Umständen, wie wir gesehen haben, für dessen Benutzung gezahlt werden müssen, sobald bestes Land nicht mehr zur Verfügung steht; aber die Monopolisirung der ihm gehörenden Vegetationsbedingungen wäre nur eine scheinbare und jener

---

vorhanden ist, die der Wurzel nicht die ganz ausreichende Ernährung zu bieten vermag, während die übrigen Stellen schon einen Ueberfluss besitzen. Daher rührt es, dass die Beschränkung der Produktion auf einer Ackerfläche, wie **Mill** sich ausdrückt, nicht „dem Hinderniss einer entgegenstehenden Wand gleicht, welche unbeweglich an einer bestimmten Stelle steht und der Bewegung nicht eher ein Hemmniss darbietet, als bis sie dieselbe gänzlich aufhält,“ sondern dass wir sie vergleichen können „mit einem elastischen und ausdehnbaren Band, dass kaum je so heftig gespannt wird, dass es nicht möglicher Weise noch etwas mehr gespannt werden könnte, obschon sein Druck lange vorher gefühlt wird, ehe die äusserste Grenze erreicht ist, und um so stärker gefühlt wird, je mehr man sich dieser Grenze nähert.“

*) Vergl. J. S. **Mill**: Grundsätze. 2. deutsche Ausgabe. 1864. p. 295.

Preis würde nicht — wie Dies unter den wirklich herrschenden Umständen thatsächlich der Fall ist — bestimmt werden durch den zur gleichen Produktion nothwendigen Mehraufwand an Kapital und Arbeit auf einem schlechtesten Stück Land, das gleichwohl zur Erzeugung des erforderlichen Ertrags noch angebaut werden müsste, sondern durch die Herstellungkosten der vom Boden repräsentirten Vegetationsbedingungen auf irgend einem Wege auch ausserhalb von Grundstücken.

Unter der gemachten Annahme also, dass sämmtliche Bedingungen des Pflanzenwachsthums, die der Boden in sich einschliesst, künstlich hergestellt werden könnten, würde dieser Produktionsfaktor in seiner Wirkungsweise nicht mehr unterscheidbar sein von einem Kapital, das alsdann ohne gleichzeitiges Vorhandensein des Produktionsfaktors „Grundstücke" zur Pflanzenproduktion in Anspruch genommen werden könnte. Eine Trennung würde nur vorgenommen werden können auf Grund der verschiedenen Entstehungsweise beider Faktoren und keinerlei praktische Bedeutung haben. Der Besitzer des Bodens würde in seinem Betriebe sich von dem ohne Boden Producirenden nur etwa unterscheiden, wie ein Eisenproducent, der zugleich Besitzer von Kohlen- und Eisenstein-Bergwerken ist, von einem solchen, der die Rohmaterialien erst käuflich an sich bringen muss. Dieser würde hinsichtlich der Qualität der ihm zur Verfügung stehenden Produktionsfaktoren durchaus nicht von jenem verschieden sein. Die Trennung der in beiden Fällen zur Verwendung kommenden Produktionsfaktoren in „äussere Natur" und „Kapital" würde in Bezug auf die nun erfolgende Produktion ohne allen Sinn sein.

Die vorstehende Betrachtung ist desshalb wie keine andere zu der Demonstration geeignet, dass es die durch Menschenhand nicht zu vermehrende Vegetationsbedingung, die Sonnenstrahlen sind — sie, die bisher geradezu als ein freies Gut angesehen worden sind —, die uns zwingen einen Produktionsfaktor „Grundstücke" neben dem zur Pflanzenproduktion verwendeten „Kapital", eine „Bodenrente" neben einem „Kapitalzins" zu unterscheiden. Nur der auseinandergesetzten Verhältnisse halber ist die Einwilligung des Grundbesitzers zur landwirthschaftlichen Produktion durchaus nothwendig, denn er ist der alleinige Inhaber einer unentbehrlichen und künstlich nicht herstellbaren Bedingung des Pflanzenwachsthums.

Aber noch mehr. Auch jene Erscheinung bei der landwirthschaftlichen Produktion, die eine so grosse Rolle in der Volkswirthschaft spielt, nemlich des mit der Verwendung von Kapital und Arbeit unproportionalen und stets sich verringernden Mehrertrags erklärt sich einfach aus dem Umstand, dass eine der nothwendigen Vegetationsbedingungen in durchaus begrenzten und durch Menschenhand nicht vermehrbaren Mengen zur Verfügung steht. Würden im Boden nach der eben gemachten Annahme nur Vegetationsbedingungen enthalten sein, die auch anderweitig zu beschaffen wären, man würde, wie ohne alle Grundstücke, auf einem beliebig kleinen Stück Landes beliebig grosse Mengen und — von einem gewissen Zeitpunkt an — dem verwendeten Kapital und der Arbeit proportionale Mengen von Pflanzensubstanz erzeugen können.

Man kann desshalb sagen: eine Uebervölkerung, eine Erscheinung, die bekanntlich lediglich*) durch die eben angeführte Erscheinung des unproportionalen Mehr-

*) J. S. Mill: Grundsätze u. s. w. 1864. p. 140.

ertrags bewirkt wird, ist nur desshalb möglich, weil zur Erzeugung von Nahrungsmitteln und mancher anderer unentbehrlichen Produkte Sonnenstrahlen erforderlich sind, diese aber nur in beschränkter Menge uns zukommen und mit um so grösserer Mühe*) zur Pflanzenproduktion in Anspruch genommen werden müssen, je mehr man sich der unverrückbaren Grenze ihres Vorhandenseins nähert. — Wir werden auf diese Verhältnisse noch einmal zurückkommen.

Wir glauben nunmehr uns darüber klar geworden zu sein, warum die „Grundstücke“ niemals als Kapital, die Grundrente niemals als Kapitalzins aufgefasst werden kann. Jenes Dunkel, was über das eigenthümliche Verhalten jener Faktoren bei der landwirthschaftlichen Produktion waltete, konnte durch eine exakt ausgeführte Zerlegung des Produktionsfaktors „Grundstücke“ in naturwissenschaftlich einfache Vegetationsbedingungen und eine aufmerksame Prüfung auf deren Veränderungsfähigkeit durch Menschenhand völlig beseitigt werden. Die Sonnenstrahlen, deren Menge ja gewöhnlich gemessen wird durch die Bodenfläche, sind es allein, die zur Aufstellung eines besonderen Produktionsfaktors „Grundstücke“ und auch wohl — da analoge Verhältnisse bei andern technischen Betrieben nur ausnahmsweise zu bemerken sind — des etwas allgemeineren „äussere Natur“ Veranlassung gegeben haben. Zerlegt man jedoch, wie wir Dies gethan, jenen Produktionsfaktor in seine einzelnen Componenten, so zeigen alle übrigen Vegetationsbedingungen das Verhalten eines Kapitals.

Wir hoffen durch unsere Darlegung dazu berechtigt zu sein, alle durch Menschenhand veränderlichen Bedingungen des Pflanzenwachsthums als wirkliche Kapitalien zu betrachten**), gleichviel auf welche Weise sie in den Boden gelangt sind. Soweit diese Bedingungen in Pflanzennährstoffen bestehen, werden wir sie zweckmässig unter dem Namen „Düngerkapital“ ***) zusammenfassen. Die anderen Fruchtbarkeitsbedingungen liessen sich selbstverständlich auch als ein Kapital bezeichnen; wir werden uns jedoch in den nun folgenden Betrachtungen nur mit jenem Düngerkapital beschäftigen, einmal weil wir nur mit demselben einen klar definirbaren Begriff verbinden, nur mit ihm eine exakte Rechnung möglich ist, dann, weil gewisse unzulässige Folgerungen, die in Folgendem eine Bekämpfung finden werden, sich gerade auf die Nährstoffe beziehen. Eine Rechnung mit einem bunten Complex unmessbarer Eigenschaften, wie sie der Rest der Fruchtbarkeitsbedingungen darstellt, ist natürlich unausführbar.

Das Düngerkapital zerfällt streng genommen in ebensoviel einzelne durch einander incommensurable Kapitalien, deren keines zur Produktion entbehrt werden

---

*) Ein Verhalten, das in der That nur von Nationalökonomen der neuen Welt geleugnet werden kann, da dort der praktischen Erfahrung jene Grenze noch nicht fühlbar geworden ist. Vergl. Carey: Lehrbuch der Volkswirthschaft, deutsch von Adler, 1866. p. 17 u. ff.

**) Man entgeht auf diese Weise auch dem sonst nicht zu beseitigenden Widerspruch, dass z. B. Meliorationskapitalien von der Zeit der Anlage an, ihre Eigenschaft als Kapital einbüssen und einen Bestandtheil des Bodenwerths ausmachen.

***) Auch Liebig bezeichnet die Pflanzennährstoffe als „Kapital“ (These 23. Grundsätze der Agriculturchemie 1855); ebenso Schumacher (Erschöpfung und Ersatz u. s. w. 1866 p. 55. 56).

kann, als es verschiedene Pflanzennährstoffe gibt, die die Pflanze durch die Wurzel aufnimmt. Vorerst gebrauchen wir jedoch den Ausdruck ohne weitere Unterscheidung in seiner summarischen Bedeutung.

Das Düngerkapital eines Ackerbodens zerfällt weiter in ein *wirksames* und ein *todtes* Düngerkapital. Ersteres lässt sich definiren als die Summe der Werthe der in einem Boden zur Zeit von der Pflanzenwurzel erreichbaren und assimilirbaren Pflanzennahrungsmittel. Neben demselben muss ein todtes*) Düngerkapital unterschieden werden, welches aus der Summe derjenigen nützlichen Pflanzennahrungsmittel besteht, die in ihrem augenblicklichen Zustande, also in Folge von Unlöslichkeit, zu tiefer Lage, ungünstiger chemischer Form, unnöthigem Ueberschuss, Abwesenheit von Pflanzenwurzeln etc. nicht erreichbar oder assimilirbar sind. Solch' todtes Kapital kann natürlich theilweise durch Wirthschafts-Massregeln oder natürliche Ereignisse, also durch Anbau, Boden-Bearbeitung und Boden-Mischung, Zufuhr von anderen indirekt wirkenden Düngestoffen, Verwitterung etc. in wirksames Düngerkapital umgewandelt werden.

Das wirksame Düngerkapital muss ferner unterschieden werden in stehendes und umlaufendes Kapital.

Ein Theil der Nährstoffe geht mit in die Zusammensetzung der Pflanzen ein und wird je nach den herrschenden Betriebsmethoden den Feldern nicht oder mehr oder weniger vollständig zurückgegeben. Dieser Theil des im Boden enthaltenen Düngerkapitals wird im letzteren Falle als umlaufendes Kapital bezeichnet werden müssen, da es bei der jedesmaligen Produktion aus den Händen des Producenten gelangt.

Dies umlaufende Düngerkapital genügt indessen nicht Produktion einer auch nur sehr geringen Ernte. Es muss zugleich eine weit grössere Menge stehendes Düngerkapital**) (aufnehmbare Pflanzennahrungsmittel, die nicht mit in die Zusammensetzung der Pflanzen eingehen) vorhanden sein***) (das indessen auf die Höhe der Ernten in hohem Masse einwirkt und desshalb nicht mit dem todten Düngerkapital verwechselt werden darf) um auch nur spärliche Ernten hervorzubringen. Dies ist ein Verhältniss, das auch von naturwissenschaftlicher Seite häufig übersehen worden ist.

Verschiedene Pflanzen bedürfen nicht blos ein qualitativ und quantitativ äusserst verschiedenes Düngerkapital, sondern auch ein sehr ungleiches Verhältniss von stehendem zu umlaufendem Kapital. Pflanzen wie Hafer, die z. B. dem Weizen gegenüber

---

*) Oder mit Roscher „schlafendes" a. a. O. p. 80.

**) Es mag befremden, dass ich einen Theil des Düngerkapitals, das nicht mit in die Zusammensetzung der Pflanzenprodukte eingeht, als stehendes Kapital bezeichne, denn es scheint dies Kapital auf den ersten Blick dieselbe Rolle zu spielen, wie der Heuvorrath des Landwirths, der doch schliesslich seinen Zweck nur erfüllt, wenn er aus dem Besitz desselben gelangt. Jeder, der jedoch die Anfangsgründe der Pflanzenernährung kennt, weiss, dass eine verhältnissmässig grosse Menge assimilirbarer Pflanzennahrungsmittel im Boden vorhanden sein muss, damit eine verhältnissmässig kleine Menge zur Aufnahme gelangt. Offenbar wirkt also eine gewisse Menge dieser Nährstoffe, die nicht zur Aufnahme gelangen, zur Produktion nothwendig mit, und diese Menge verhält sich genau wie werkzeugartige Gegenstände, die zur Produktion erforderlich sind, ohne aus der Hand des Producenten zu gehen.

***) Vergl. Drechsler: Die Statik des Landbaus. Göttingen 1869. p. 148.

ein geringeres Verhältniss von stehendem zu umlaufendem Düngerkapital bedürfen, erscheinen genügsamer, als sie in der That sind, und können doch bodenausraubender sein als jene, wie Dies bei dem angeführten Beispiel nach einigen Angaben der Fall ist.

Es wird nun nach den gemachten Ausführungen möglich sein, die wirthschaftlichen Gesetze der Verwendung des Düngerkapitals abzuleiten. Wir stellen zu diesem Zweck die in der Volkswirthschaftslehre üblichen Betrachtungen an, die zur Erläuterung der Bedingungen der extensiveren und intensiveren Bewirthschaftungsmethoden dienen.

Man unterscheidet bekanntlich in dieser Wissenschaft die verschiedenen Wirthschaftssysteme nach dem Verhältniss des Zusammenwirkens der Produktionsfaktoren „Grundstücke", „Menschenarbeit" und „Kapital"*). Man nennt eine *extensive Bewirthschaftungsmethode* eine solche, bei welcher der Faktor *„Grundstücke" in relativ grosser Menge* verwendet wird, während an den beiden andern Faktoren gespart wird, eine *intensive* Bewirthschaftungsmethode umgekehrt eine solche, bei der man relativ viel Arbeit und Kapital verwendet, an Grundstücken jedoch möglichst spart.

Als extensivster Betrieb kann eine Bewirthschaftung angesehen werden, bei der keine mechanische Bearbeitung des Bodens, keine Düngung, keine eigentliche Aussaat erfolgt, wobei sich alle landwirthschaftliche Arbeit nur auf das Einsammeln des zufällig Gewachsenen beschränkt (occupatorische Wirthschaft**). Ein extensiverer Betrieb ist in der That undenkbar, und man wird Anstand nehmen, einen solchen überhaupt als Bewirthschaftung anzusehen. Im vorliegenden Falle sind die Produktionsfaktoren Kapital und Menschenarbeit nahezu gleich Null. Hierin ist augenscheinlich die eine extremste Grenze für die Variationen der Produktionsfaktoren gegeben.

In diesem Falle extensivster Bewirthschaftung ist nun leicht die Vertretung jener beiden ganz wegfallenden Faktoren durch die „Grundstücke" ersichtlich. Man braucht nur zu bedenken, eine wieviel grössere Bodenfläche zur Produktion einer beliebigen Nutzpflanze in Anspruch genommen werden muss, wenn man den Boden sich völlig selbst überlässt, ihn so zugleich eine grosse Menge nicht nutzbarer Pflanzen hervorbringen lässt und nirgends die zufällig stets vorhandenen Vegetationshindernisse beseitigt.

Zunächst reihen sich dann an diese Methoden extensivster Bewirthschaftung diejenigen Betriebsmethoden an, wo eine seichte Bodenbearbeitung durch Thier- oder Sclaven-Arbeit, die in solchen Perioden wegen der Wohlfeilheit der Nahrungsmittel ein sehr geringes Kapitalopfer repräsentiren, oder auch durch gleichfalls niedrig im Preise stehende freie Arbeit, in der Regel verbunden mit künstlicher Aussaat, beginnt, dagegen noch keine Düngung***) vorgenommen wird.

Auch hier tritt der Produktionsfaktor „Grundstücke" noch in starkem Verhältniss für Arbeit und Kapital ein; denn während man bei intensiveren Betrieben die durch den dauernden Anbau nach und nach geschwächte Bodenkraft durch Düngung und starke Bodenbearbeitung wiederherstellt, geschieht hier, wenn nöthig, dasselbe

*) Roscher: Nationalökonomik des Ackerbaus. 1865. p. 63.

**) Ebenda p. 15.

***) v. Haxthausen: Studien über die inneren Zustände Russlands. II. p. 155 u. f.

ohne Aufwand solcher Kapitalien und Arbeitskräfte durch einfaches Ruhenlassen des bebaut gewesenen Ackerlandes, durch Liegenlassen desselben als langjähriges Weideland.

Die Zweckmässigkeit eines solchen Verfahrens erklärt sich einfach aus dem Umstand, dass in solchen Perioden die Grundrente niedrig, Kapitalzins und Arbeitslohn aber theuer ist, und man besser die Rente eines Grundstücks dadurch entbehrt, dass es unbebaut bleibt, als das theure Kapital und die theure Arbeit, die nothwendig wäre, um dasselbe auf einem anderen Wege zu erreichen, bezahlt oder aufwendet. Es ist kaum nöthig, diese Verhältnisse näher auszuführen.

Bei weiterer *Intensivirung* der Betriebsmethoden treten nun immer mehr die beiden anderen Produktionsfaktoren in den Vordergrund, je nach den sonstigen Verhältnissen bald mehr der eine, bald mehr der andere. Immer ängstlicher spart man mit dem Faktor „Grundstücke". Man geht schliesslich so weit, die Brache, die offenbar hauptsächlich eine Verschwendung dieses Faktors repräsentirt, vollständig abzuschaffen, dann selbst mehrere Ernten jährlich zu entnehmen, d. h. zu den Betriebsmethoden überzugehen, die wir in unseren dichtbevölkerten Ländern*) ausgebildet sehen.

Die wirthschaftliche Motivirung dieser intensiven Systeme ist natürlich eben so einfach. *Die Produktionsfaktoren können sich theilweise vertreten, und man spart naturgemäss immer an denen, die theuer sind, um diejenigen anzuwenden, die billiger zu stehen kommen.* **)

Für unsern Zweck müssen wir nun hauptsächlich darauf aufmerksam machen, dass die für die Intensivirung des Feldbaus erfolgende stete Zunahme der Verwendung von Kapital auf Pflanzenproduktion insbesondere auch gilt für das auf Düngung verwendete Kapital. Bei den extensivsten Bewirthschaftungsarten wird keine Düngung vorgenommen. Fängt der Betrieb an, sich zu intensiviren, so wird mit der Zeit die Düngung mit natürlichen Düngern, die bis dahin als völlig werthlose Stoffe angesehen waren, sich als rentabel erweisen, bis dann nach und nach sogar die Anwendung theurer Fabrikate und weither transportirter Materialien als Dünger möglich erscheint.

Unsere Aufgabe wird es nun sein, die verschiedenen Betriebsmethoden von dem naturwissenschaftlichen Standpunkte aus verstehen zu lernen, was auf Grund der bisher angestellten Betrachtungen mit Leichtigkeit gelingen muss. Sehen wir zu, wie die Vegetationsbedingungen bei der einen oder der anderen Art der Bewirthschaftung zusammenwirken und wie sich von diesem Standpunkte aus die Vertretung der Produktionsfaktoren bei den verschiedenen Methoden der Produktion erklären lässt.

---

*) Ueber extensiven und intensiven Ackerbau vergl. Roscher a. a. O. p. 63—97.

**) In diesem Satze hat merkwürdiger Weise der Herr Recensent meines „Das Düngerkapital und der Raubbau" in der norddeutschen allgemeinen Zeitung (1. Sept. 1869) einen Widerspruch gegen den früher ausgesprochenen Satz von der Unvertretbarkeit der Vegetationsbedingungen unter einander erkennen wollen — eine Ansicht, die eben einfach auf einer Verwechslung dieser letzteren *physischen* Produktionsbedingungen mit den (von mir in solche zerlegten) *wirthschaftlichen* Produktionsfaktoren beruht.

Bei der Methode, die für die extensive Bewirthschaftung am Charakteristischsten ist, wo also nur ein Theil der vorhandenen Grundstücke dem Anbau, dessen Manipulationen sich auf eine ungründliche Bodenbearbeitung und die Aussaat beschränken, unterliegen, sind nahezu sämmtliche Vegetationsbedingungen durch die „Grundstücke" selbst repräsentirt; nur einige physikalische Eigenschaften des Bodens sind durch Arbeit abgeändert worden, worin die ganze Gegenleistung in jenen Perioden besteht.

Nun gelangen wir aber mit Sicherheit zu dem Schluss, dass durch einen solchen extensiven Betrieb selbst gewisse im Boden enthaltene Vegetationsbedingungen nothwendig eine successive Aenderung erfahren müssen. Es ist eine selbstverständliche Folge dieses Betriebs, dass das Düngerkapital in dem von uns gebrauchten Sinn dem Boden stets mehr und mehr entzogen wird. Eine solche extensive Bewirthschaftung ist stets ein eigentlicher Raubbau*) im Liebig'schen Sinne des Worts.

Wenn wir nun nach den wirthschaftlichen Gründen fragen, die zu einem solchen Systeme drängen, so erfahren wir, dass es stets die relative Dünne der Bevölkerung, oder genauer, ein relativ kleines Absatzgebiet für landwirthschaftliche Erzeugnisse ist, das die in Rede stehende Betriebsmethode mit Nothwendigkeit nach sich zieht.

Die nähere Begründung der wirthschaftlichen Richtigkeit jener extensiven Betriebsmethoden und des mit diesen fast stets in Verbindung stehenden Raubbau's, kann jedoch erst nach weiteren Ausführungen vorgenommen werden.

Auf ein gewisses Land mit einem Produktenmarkt von gewisser Grösse fällt eine ganz bestimmte Menge auf Pflanzenproduktion wirkender Sonnenstrahlen. Wo eine extensive Bewirthschaftungsmethode herrscht, da genügt die zur Verfügung stehende Menge von Sonnenstrahlen stets, um das Mehrfache des Bedarfs an Pflanzenprodukten möglicher Weise hervorzubringen. Ebenso ist in diesem Falle das im Boden vorhandene Düngerkapital mehr als genügend für den Bedarf. Dies ergibt sich aus leicht anzustellenden Betrachtungen über die Möglichkeit der Ertragssteigerung durch Mittel, die ausserhalb jener beiden Produktionsbedingungen liegen. Da nun der Wiederersatz des mit jeder Ernte ausgeführten Antheils des Düngerkapitals Kosten machen würde, Kosten, die durch den bei bereits befriedigten Bedarf stets abnehmenden Produktenpreis nicht bezahlt werden würden, so ist offenbar kein Anlass dazu vorhanden, die auf die Ländereien fallenden Strahlen vollständiger auszunutzen. Das im Boden noch vorhandene Düngerkapital genügt mehr als vollständig, um diejenigen Mengen von Sonnenstrahlen, deren man gerade bedarf, zur Produktion von organischer Substanz zu veranlassen. **)

Ein grosser natürlicher Reichthum des Bodens an Düngerkapital muss ähnliche Betriebsmethoden nach sich ziehen, wie die relative Beschränkung des Produkten-

---

*) Obgleich extensive Betriebe bestehen mit ziemlich reichlicher Düngung z. B. die der sog. „volunteering crops" in Nordamerika.

**) Dass fast für alle extensiven Betriebsmethoden ein Wechsel mit den angebauten Feldern (systematisch oder völlig regellos) eintritt, thut der hier angestellten Betrachtung keinen Eintrag. Immer bleibt bei diesem Betriebe äusserster Extensität die Produktion mit dem im Felde noch vorhandenen Düngerkapital rentabler, als mit dem im natürlichen Dünger vorhandenen,

markts, denn in diesem Falle wird eine Raubwirthschaft länger bestehen können. — Hierdurch ist allerdings im Grunde Nichts Neues gesagt. Es wird nur darauf hingedeutet, dass es nicht auf irgend eine absolute Bevölkerungsmenge, die sich auf Kosten des producirenden Bodens ernährt und ebensowenig auf eine absolute Fruchtlbarkeit ankommt, sondern lediglich auf das Verhältniss dieser beiden Grössen, das jedoch alsdann den Grad der Extensität oder Intensität vollständig bestimmt. Ist der natürliche Bodenreichthum grösser, als zu derjenigen „Ausbeutung der Sonnenstrahlen“ erforderlich ist, die nun gerade die wirthschaftlich richtige ist, so ist eine stete Ausfuhr der in der Ernte enthaltenen Düngerbestandtheile ohne Wiederersatz die Folge dieses Verhältnisses, der Raubbau das einzige rentable Ackerbausystem. Gerade so, wie bei den intensiveren Betriebsmethoden Mehrerträge für eine gewisse weitere Anhäufung des Düngerkapitals durch Aufbringen einer gewissen weiteren Menge von Dünger aufhören rentabel zu sein, gerade so findet Dies bei jenen extensivsten Methoden schon für die Anhäufung des Düngerkapitals durch die allerkleinste Düngung statt.*)

Die augenscheinliche Vertretung der Produktionsfaktoren in dem erläuterten Sinne rührt einfach von dem Umstand her, dass der Faktor „Grundstücke“ schon sämmtliche Wa hsthumsbedingungen in sich enthält, und zwar im vorliegenden Fal in einem Verhältniss enthält, dass bei dem geringen Bedarf an Produkten eine weitere Anhäufung der der Anhäufung fähigen Faktoren keine rentable Operation ist, im Gegentheil lange Zeit hindurch eine Verminderung einzelner Faktoren, deren Erhaltung mit Kapitalopfer verknüpft wäre, völlig naturgemäss erscheint.

Wir sind durch das Ebengesagte zu der Erkenntniss gelangt, dass es zum Zustandekommen des einen oder des andern Wirthschaftssystems lediglich auf das Verhältniss der Fruchtbarkeit der Felder zur Bevölkerung des Landes oder strenger zu derjenigen Bevölkerung,**) die noch möglicherweise durch den Handel mit den landwirthschaftlichen Produkten versorgt werden kann, ankommt.

Eine kurze Ueberlegung genügt nun, um uns einsehen zu lassen, dass für die kulturgeschichtliche Entwicklung der Betriebsmethoden stets zwei Momente vorhanden sind, die jenes Verhältniss abzuändern bestrebt sind, und zwar meistens in einem und demselben Sinne. Dies sind: die Aenderung des Bevölkerungsstandes, mithin der Grösse des Produktenmarktes und die Abnahme der Fruchtbarkeit der Aecker in Folge aller der Betriebsmethoden, die nicht mindestens die volle Constanz des umlaufenden Düngerkapitals bewirken.

Die Ackerfelder werden durch eine consequente Ausraubung des ihnen innewohnenden Düngerkapitals, die ja auch bei den schon etwas intensiveren Methoden des theilweisen Wiederersatzes***) stattfindet, von Jahr zu Jahr unfähiger, die zu Gebote stehenden Sonnenstrahlen der Pflanzenproduktion dienstbar zu machen, und

---

*) Aehnliches, was hier für Düngung ausgesagt wird, findet auch für die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Bodens statt, ohne dass wir uns freilich auf dieses Gebiet näher einzulassen beabsichtigen.

**) Wozu alsdann ein gewisses Bedürfniss des producirenden Volkes nach fremden Gütern erforderlich ist.

***) Stallmistwirthschaft bei Ausfuhr von Getreide und Vieh.

so muss auch bei sich gleichbleibender Bevölkerung der Punkt endlich eintreten, wo das dem Boden verbliebene Düngerkapital nicht mehr fähig ist, diejenige Menge von Sonnenstrahlen, deren wir zur Produktion dringend bedürfen, zu derselben zu veranlassen. Unter diesen Umständen wird die Grösse der Produktion offenbar durch das nun endlich unter den Vegetationsbedingungen im Minimum vorhandene Düngerkapital bestimmt, und die ganze überschüssige Menge von Sonnenstrahlen ist für landwirthschaftliche Zwecke völlig verloren. Sinkt so schliesslich die Menge der Sonnenstrahlen, die überhaupt Material zur chemischen Arbeit auf den Feldern vorfindet, unter diejenige herab, deren man nothwendig bedarf, um die Nachfrage nach Produkten zu decken, so fängt natürlich die Düngung (zunächst mit natürlichen Düngern) an, in hohem Masse rentabel zu werden. Nur geschieht Dies nicht, wie bei unserer Betrachtung plötzlich und ruckweise, sondern schon lange vorher, obwohl in geringerem Grade. — Dies ist das eine Moment, welches unabhängig von der Grösse des Markts stets auf eine Intensivirung der landwirthschaftlichen Betriebsmethoden in gewisser Richtung hinarbeitet.

Findet nun gleichzeitig eine Vermehrung der Bevölkerung statt, erweitert sich das Absatzgebiet für landwirthschaftliche Produkte, so tritt die Rentabilität der Düngung nothwendig früher ein; denn hierdurch ist die Ausnutzung einer grösseren Menge von Sonnenstrahlen, die ja natürlich eine grössere Menge der anderen Bedingungen des Pflanzenwachsthums voraussetzt, erforderlich geworden.

Wann also ein solcher Zeitpunkt, für den die Düngung gegenüber jenem extensivsten Betrieb beginnt rentabel zu werden, in einem gewissen Lande eintreten muss, lässt sich niemals allein aus der Bevölkerung oder dem Markte dieses Landes, ebensowenig allein aus der Fruchtbarkeit von dessen Aeckern — deren Sättigung mit Düngerkapital — schliessen, sondern lediglich durch gleichzeitige Berücksichtigung dieser beiden Umstände. Die Vermehrung der Bevölkerung wirkt in derselben Richtung, wie die Folgen eines extensiven Betriebs, und so ist die Erscheinung einer steten Intensivirung der Betriebsmethoden im Lauf der Kulturgeschichte eine sehr allgemeine und durchaus naturgemässe.

Wir haben früher hervorgehoben, dass das Düngerkapital ein Complex von sehr vielen von einander verschiedenen Bestandtheilen ist, die untereinander sich zu ersetzen unfähig sind. Diese einzelnen Bestandtheile eines Düngerkapitals sind nun in sehr verschiedenen Mengen im Boden vorhanden und stellen andererseits in sehr verschiedenen Mengen gleich nothwendige Produktionsbedingungen der Pflanzenwelt dar. Es ist durchaus einleuchtend, dass nun der Wiederersatz oder eine Zufuhr an Düngerkapital für diejenigen Stoffe am Nothwendigsten und Rentabelsten ist, für die bei verhältnissmässig sparsamem Vorkommen im Boden die Ausraubung am Grössten gewesen ist. Nun stehen aber jene einzelnen Düngebestandtheile den Wirthschaften gewöhnlich nicht getrennt zu Gebote, sondern ebenso, wie man complexe Düngerkapitalien mit der Ernte dem Boden entnimmt, so bringt man namentlich durch Düngungen mit den zuerst in die Augen fallenden natürlichen Düngestoffen wiederum complexe Düngerkapitalien anderer Zusammensetzung in den Boden hinein.

Aus diesem Verhältniss ist indessen ersichtlich, dass gleichzeitig durch eine und dieselbe Betriebsmethode in Bezug auf gewisse Pflanzennährstoffe eine stetige

Ausraubung, in Bezug auf andere ein vollkommener, oder mehr als vollkommener Wiederersatz*) stattfinden kann, worauf immer bei der Operation mit jenem complexen Düngerkapital Rücksicht genommen werden muss.**)

Aus der ganzen bisherigen Betrachtung geht als unanfechtbares Resultat hervor, dass Gesetze complicirterer Natur die Art der zu leistenden Düngung und deren Rentabilität beherrschen, Gesetze, gegen die man verstösst, wenn man dem Landwirth zu allen Zeiten den einfachen Wiederersatz des mit der Ernte hinweggenommenen Düngerkapitals als obersten Grundsatz empfiehlt.***)

---

*) Bei der Stallmistwirthschaft mit periodischer Mergelung wird z. B. in Bezug auf Phosphorsäure gewöhnlich Raubbau getrieben, in Bezug auf Kalk mehr als Wiederersatz geleistet.

**) Man sollte vielleicht aus den bisherigen Auseinandersetzungen schliessen, dass für das Düngerkapital oder strenger für die einzelnen Componenten des Düngerkapitals sich, je nach der relativen Sättigung des Bodens mit demselben, entweder das vollkommene Verlorengeben des jeweils in der Ernte enthaltenen, oder der vollständige Wiederersatz empfehlen müsste, da entweder diese Bedingungen nicht mehr genügen, um die Sonnenstrahlen auszunutzen, oder völlig hierzu ausreichen. Hierbei bleibt jedoch Mehreres zu beachten.

Zunächst kommt in Betracht, dass die Grösse des Markts auch in einem absolut abgeschlossenen Lande Etwas Dehnbares ist, dass die Consumtion sich stets richtet nach der Gegenleistung, nach dem Preis, der für die Produkte bezahlt werden muss. Dies bewirkt, dass, wenn man mit Aufwand von sehr wenig Kapital (man denke an den niedrigen Preis, der in sehr extensiven Perioden für natürliche Düngstoffe entrichtet werden kann) Mehrproduktionen bewirken kann, diese sich in vielen Fällen bezahlt machen werden, namentlich wenn es einmal nothwendig ist, Boden von sehr verschiedener Qualität anzubauen. — Neben solchen häufig sehr complicirten Einwirkungen der wirthschaftlichen Verhältnisse ist hier noch zu berücksichtigen, dass die Anwendung der natürlichen Düngestoffe häufig in noch sehr extensiven Perioden bloss desshalb rentirt, weil dieselben einzelne Bestandtheile enthalten, die leicht eine sich fühlbar machende Verminderung im Boden erleiden, wie z. B. den Stickstoff, und der Ackererde vorzügliche physikalische Eigenschaften zu verleihen vermögen, die der ungedüngte Boden meistens nicht in sehr hohem Masse besitzt.

Dies Alles und noch viele andere Umstände, deren Berücksichtigung wir uns versagen müssen, tragen das Ihrige zur Verdunkelung der dargelegten Verhältnisse bei und bewirken, dass man nicht, wie es die Theorie auf den ersten Blick zu verlangen scheint, bis zu einem gewissen Zeitpunkt ohne allen Dünger wirthschaftet, dann anfängt, für einen Stoff nach dem andern vollkommenen Wiederersatz zu leisten, sondern sehr lange Perioden hindurch unvollkommen wiederersetzt und für manche Düngebestandtheile einen kleinen Raubbau treibt.

Dennoch lassen diese schwer zu übersehenden Verhältnisse die Gesetzmässigkeiten, die wir in Bezug auf die Sättigung des Ackerbodens mit Düngerkapital abgeleitet haben, nicht verkennen.

***) Ich glaube in der That als Resultat unserer Betrachtungen ansehen zu dürfen: den Beweis der Unhaltbarkeit der Liebig'schen Forderung, die als der Angelpunkt seiner ganzen Lehre vom Raubbau angesehen werden darf, dass eine rationelle Düngung stets die durch die Ernten hinweggenommenen Mineralbestandtheile wiederersetzen müsse (J. v. Liebig: Die Chemie in ihrer Anw. u. s. w 1862. Einl. p. 151. Th. II. p. 253). Es ist gänzlich überflüssig, den Inhalt dieser Liebig'schen Lehre des Weiteren zu erörtern, da sie allgemein bekannt ist. Ich betrachte es auch nicht als die Aufgabe dieser Darstellung, alle die einzelnen Sätze, welche die Lehre des Wiederersatzes und des Raubbaues zusammensetzen, zu widerlegen. Dies ist grossentheils anderwärts mit Aufwand von vielem Scharfsinn und beweiskräftigem Materiale geschehen. Es genügt hier die Bemerkung, dass der Inhalt jener

Es erscheint fast überflüssig, die angedeuteten Gesetzmässigkeiten bis in die intensiveren Perioden hinein zu verfolgen. Wir nehmen an, man habe z. B. mit einem theilweisen Wiederersatz des dem Felde jährlich entnommenen Düngerkapitals begonnen, also sei etwa an der Stallmistwirthschaft bei Ausfuhr von Getreide und Schlachtvieh angelangt, so wird vielleicht für einige Düngebestandtheile ein nahezu vollständiger Ersatz des jährlich Entnommenen eintreten, während für andere Düngestoffe noch ein erheblicher Raubbau fortbesteht. Auch unter diesen Umständen wird selbst ohne Vergrösserung des Bedürfnisses nach und nach ein immer vollständigerer Ersatz rentabel werden, und da die Veränderung der Verhältnisse nur langsam einzutreten pflegt, so wird auch der Praktiker, der von den über seinem Thun waltenden Gesetzen Nichts ahnt, durch die Erfahrung zu einer langsamen Aenderung seiner Bewirthschaftungsmethode zu einer Intensivirung in der angedeuteten Richtung gedrängt werden.

Lassen wir das Bedürfniss an landwirthschaftlichen Produkten sich eine grössere Periode hindurch constant bleiben, so muss sich die Bewirthschaftungsmethode unter allen Umständen einem Punkte nähern, wo vollständiger Wiederersatz geleistet wird, und Dies ist dann der einzige denkbare Zustand, in welchem keine Momente zu einer weiteren Aenderung des Betriebs enthalten sind. Tritt jedoch eine Vergrösserung des Bedarfs ein, so wird alsdann eine weitere Sättigung des Bodens mit Düngerkapital erfolgen müssen, so lange bis das Bedürfniss wieder constant geworden ist, gerade so wie andererseits eine Abnahme des Bedürfnisses an landwirthschaftlichen Produkten den Zeitpunkt des völligen Wiederersatzes weiter hinausrückt resp. nach dem Eintritt desselben eine neue Ausfuhr von Düngerkapital bedingt.

Einer jeden Grösse des Markts entspricht offenbar eine gewisse Sättigung des Bodens mit Düngerkapital, bei welcher die Produktion am Wohlfeilsten ist und nach der ein jeder nach praktischen Grundsätzen geleitete Betrieb (wenn auch auf grossen Umwegen) hinstrebt.

---

ganzen Lehre steht und fällt mit der Zulässigkeit der Forderung des strengen Wiederersatzes und desshalb genügt die objective Prüfung dieser Zulässigkeit, welche ich mir in diesen beiden letzten Vorlesungen habe angelegen sein lassen, zur endgültigen Erledigung der noch immer vorhandenen Kontroverse.

Von Schriften, welche bei der Bekämpfung der Liebig'schen Aufstellungen auf diesen Kernpunkt der Frage eingegangen sind, kann ich nur ausser meiner eigenen Abhandlung, welcher ich im Wesentlichen die hier gewählte Darstellung entnehme (Das Düngerkapital und der Raubbau. Heidelberg 1869), folgende erwähnen: J. Konrad: Liebig's Ansicht von der Bodenerschöpfung u. s. w. Jena 1864 und J. Au: Die Hülfsdüngemittel u. s. w. Heidelberg 1869. Ersteres bekämpft zugleich mit schlagendem Erfolge die kulturgeschichtlichen Belege, welche Liebig für seine Ansicht beigebracht hatte. Alle übrigen gegnerischen Bücher und Schriftchen, von denen ich Kenntniss erlangt habe, sind nicht dem Kerne des Irrthums, sondern nur einzelnen Folgerungen mit mehr oder minderem Geschick zu Leibe gegangen und konnten desshalb, auch soweit sie mit Sachkenntniss geschrieben waren, nicht von durchgreifendem Erfolge sein. — Ausserdem ist zu erwähnen, dass eine ganze Reihe von Nationalökonomen in ihren Veröffentlichungen gezeigt haben, dass sie sich durchaus nicht von der Liebig'schen Irrlehre haben gefangen nehmen lassen; allein bei diesen waren häufig die naturwissenschaftlichen Kenntnisse nicht ausreichend, um sie entschieden genug gegen jene Sätze auftreten zu lassen.

Das hier dargestellte Verhältniss ist in der That so einfach, dass man bei irgend einem anderen technischen Betriebe die entwickelten Gesetzmässigkeiten als selbstverständlich anzusehen pflegt, und nur die Complicirtheit der Vegetationsbedingungen, die in dem national-ökonomischen Produktionsfaktor „Grundstücke" verschmolzen erscheinen und die wirthschaftliche Unmöglichkeit, das in einem Boden enthaltene Düngerkapital demselben plötzlich zu entziehen und einem andern einzuverleiben, waren im Stande, die Sachlage bis zur Unkenntlichkeit zu maskiren.*)

---

*) Ich hoffe durch einen Vergleich, der bis in alle Details fortzuführen möglich ist, noch deutlicher zu werden. Gerade wie der Landwirth die ihm zur Produktion von organischer Substanz zu Gebote stehenden Sonnenstrahlen mit Aufwand von mehr oder weniger Düngerkapital, je nach der Nachfrage nach seinen Produkten, mehr oder weniger vollständig ausnutzt, geradeso verfährt der Müller, der mit der Kraft des fallenden Wassers arbeitet. Derselbe nützt diese ihm zu seiner Produktion zur Verfügung stehende Wasserkraft mit Aufwand von mehr oder weniger Betriebskapital mehr oder weniger vollständig aus, je nach der Nachfrage nach Mehl.

Die vollständigere Ausnutzung der ihm zur Verfügung stehenden Wasserkraft ist nothwendig theurer als die unvollständigere (wenigstens von einem gewissen Punkte an), da er sich einer unverrückbaren Grenze, über die hinaus ihm keine Wasserkraft mehr zu Gebote steht, nähert. Die vorhandene Wassermasse ist vielleicht durchschnittlich nur im Stande, zwei Mühlenräder zu treiben. Stehen aber nur zwei Mühlenräder zur Verfügung, so geht das Hochwasser ungenutzt verloren. Will der Müller dieses benutzen, so müssen zwei weitere Räder vorhanden sein, mittelst deren aber alsdann eine nahezu vollständige Ausnutzung der vorhandenen Wasserkraft möglich ist. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass das Mahlen mittelst dieser Räder weit theurer zu stehen kommt und dass eine weit grössere Nachfrage nach der Arbeit, die in der Mühle verrichtet wird, bestehen muss, um diese Produktion rentabel erscheinen zu lassen.

Man sieht, wie eine Vergleichung der landwirthschaftlichen Produktion mit der Produktion des Müllers, der mit der Wasserkraft arbeitet, völlig zulässig erscheint, während die meisten technischen Betriebe sich in dieser Beziehung sehr wesentlich vom Feldbau unterscheiden, indem bei denselben (sofern sie nur mit Kapital und Arbeit und ohne einen monopolisirten Produktionsfaktor der äusseren Natur produciren) fast in allen Fällen die Produktion durch Verdoppelung des auf sie verwendeten Kapitals und der Arbeit verdoppelt werden kann und so fort bis in's Unbegrenzte.

Der Fall, in den der Landwirth kommt, wenn er zur Ausraubung seiner Aecker an Düngerkapital schreitet, ein Verfahren, das ihm so viele Vorwürfe zugezogen hat, tritt beim Müller ein, wenn dieser eine Mühle antritt, die (von besseren Zeiten her oder durch unsinnige Speculation) übermässig mit Betriebskapital versehen ist, also vielleicht mit einer Anzahl von Mahlgängen, wie Dies zu der gerade herrschenden Nachfrage in keinem Verhältnisse steht. Ein verständiger Müller wird unter diesen Umständen seine beschädigten Mahlgänge, (und zwar zuerst jene, welche durch die zur Verfügung stehende Wasserkraft am Seltensten in Betrieb gesetzt werden können und darum am Theuersten produciren) anstatt sie mit weiterem Kapitalaufwand zu repariren, nach und nach abgehen lassen, bis durch die in Folge der stetigen Abnutzung eintretende Abnahme des Betriebskapitals dieses nach und nach mit den nun herrschenden wirthschaftlichen Verhältnissen, die den Mehlbedarf reguliren, sich in Einklang gesetzt hat.

Ganz dieselben Gesetzmässigkeiten, die für die Abhängigkeit der Sättigung der Aecker mit Düngerkapital (sowie mit manchem andern landwirthschaftlichen Betriebskapital) von der Nachfrage nach den betreffenden Produkten abgeleitet worden sind, betrachtet man für

Es ist kaum nothwendig hervorzuheben, dass mit der Demonstration, dass manche Arten von Raubbau eine nothwendige Wirthschaftsform für grosse Zeitperioden darstellen, nicht behauptet werden soll, dass es nicht einen unwirthschaftlichen Raubbau auf Grund der Unkenntniss der Produktionsgesetze geben kann. Nun darf ich mir hier zwar nicht die Aufgabe stellen, mich darüber auszusprechen, wo ein rationeller Raubbau herrscht, wo ein irrationeller. Es verdient jedoch hervorgehoben zu werden, dass nicht einzusehen ist, warum ein irrationeller Raubbau eine grössere Rolle*) unter den landwirthschaftlichen Fehlgriffen spielen soll, als eine irrationelle Intensivirung der Betriebsmethoden und unwirthschaftliche Anhäufung von Düngerkapital im Boden, da der Landwirth — mit oder ohne Probekulturen auf Versuchsfeldern — seinen Betrieb nach einer mehr oder weniger rohen Schätzung möglichst rentabel einrichten und so der Wahrscheinlichkeit nach gleichmässig in beiden Richtungen Fehlgriffe machen wird.

Was mir hier allein wichtig zu betonen erscheint und was ich an sich schon als ein lohnendes Resultat der gemachten Betrachtungen ansehe, ist, dass der grosse Feldzug gegen den nachgewiesener Massen an vielen Orten Europas stattfindenden Raubbau mit Nichtberücksichtigung der hier erkannten Gesetzmässigkeiten angestellt worden ist, dass alle jene gewiss sehr logischen Consequenzen auf die Constanz des Ausraubungssystems begründet, also mit Unkenntniss der Gesetze, die auf die Dauer die Unmöglichkeit einer solchen Constanz beweisen, gezogen worden sind. Während jene Consequenzen nur für die Voraussetzung gelten, dass das Ausraubungssystem selbst bei ansteigender Bevölkerung unbekümmert fortbestehen bleibe, haben wir ja auf's Deutlichste erkannt, dass das Betriebssystem in Bezug auf die Verwendung von Düngerkapital von zwei Momenten regiert wird, von der Fruchtbarkeit der Felder und der Ausdehnung des Produktenmarkts. Nur bei Constanz dieser beiden Grössen konnte die Betriebsintensität dieselbe bleiben. Diese einzige Bedingung, unter welcher ein System fortbestehen kann, wird nun aber offenbar durch das System der Ausraubung selbst zerstört. In Folge der Ausraubung werden die Felder stetig unfruchtbarer und daher dankbarer für die Einverleibung von Düngerkapital.

---

den technischen Betrieb eines Wasser- oder auch eines Wind-Müllers, in Bezug auf die Sättigung seines Etablissements mit Betriebskapital, weil die Elemente dieses Betriebs uns geläufiger sind, als ganz und gar selbstverständlich. Ein Unterschied liegt für beide auf den ersten Anblick so verschieden erscheinenden Betriebe nur in dem Ursprung beider in Rede stehenden Betriebskapitalien, der es allein veranlasst, dass man das eine nicht als ein solches zu erkennen und zu bezeichnen pflegt.

*) Es gibt allerdings eine Ursache, welche es wahrscheinlicher macht, dass von Seiten der Praktiker eher ein unwirthschaftlicher Raubbau getrieben wird, als eine unwirthschaftliche Anhäufung von Düngerkapital; es ist Dies die Sparsamkeit und Trägheit der Wirthschaftenden. Letztere vermag in diesem Sinne zu wirken, weil der Uebergang von den extensiven Betriebsmethoden zu den intensiven nach der früher verfolgten kulturgeschichtlichen Entwickelung häufiger ist, als der umgekehrte Uebergang. Dies hat zur Folge, dass die Prediger des Wiederersatzes thatsächlich in unserem intensiv bewirthschafteten Mitteleuropa nicht so schädlich wirken, als man nach den Ausführungen im Texte glauben sollte.

Wir haben es in der That mit einem scheinbaren Uebel zu thun, das seine Heilung in sich selbst trägt.

Findet gleichzeitig mit jenem Vorgang noch Volksvermehrung, Erweiterung des Produktenmarktes statt, so tritt die wirthschaftliche Nothwendigkeit des Wiederersatzes selbstverständlich um so früher ein.

Ich wiederhole also schliesslich, jene allerdings für die an vielen Orten stattfindenden Bedingungen höchst logischen Consequenzen sind desshalb ohne Bedeutung, weil die Bedingungen, für die sie gelten, nicht constant sind, weil die Ausraubung unter allen Umständen wirthschaftlich unrentabel werden und darum aufhören muss, es sei denn, dass sich der Markt proportional mit dem Unfruchtbarerwerden der Felder stetig verkleinere, die Erdbevölkerung abnehme. Ein Nahrungsmangel kann durch diesen naturgemässen Vorgang unter keinen Umständen *) eintreten; ein solcher erscheint nur möglich, wenn der erzielte Mehrertrag durch weitere Intensivirung des Landbaus nicht gleichen Schritt mehr halten kann mit den Bevölkerungszuwächsen — also durch einfache Uebervölkerung. **)

*) Der Beweis dieses Satzes wird in der nächsten Vorlesung vervollständigt werden.

**) Wir kehren noch einmal zu unserm Vergleiche zurück und sehen zu, was Jemand, der von den Gründen, die den mit Wasserkraft arbeitenden Müller zu der obengeschilderten Betriebsänderung führen mussten, kein Verständniss hätte, wohl für Betrachtungen anstellen würde über dessen Massregeln. Wenn z. B. der Müller einen kleinen Sohn hat, der das Thun und Lassen seines Vaters genau beobachtet, so wird dieser, wenn er einen Mahlgang nach dem andern eingehen sieht, ungefähr folgende Reflexionen anstellen. Wenn der Vater voriges Jahr einen Gang hat eingehen lassen und dieses Jahr wieder einen eingehen lässt und Dies so fort geht, so hat er, da er noch zwanzig Gänge hat, nach eben so viel Jahren keinen Gang mehr Niemand wird bestreiten, dass Dies logisch gedacht ist, und dass sich durch diese Consequenzen eine trübe Perspektive für den kleinen Sohn eröffnet. Niemand wird aber auch die falsche Vorraussetzung übersehen, auf der jene Schlussfolgerungen beruhen, und Niemand wird sich des Lächelns erwehren können, wenn er nun sieht, wie der kleine Junge seinen Vater dringend beschwört, doch ja in seinem Beginnen inne zu halten, denn ohne Mahlgänge könne man kein Mehl machen, und vom Mehlmachen müssten sie doch leben, er solle doch nicht sich und seine Nachkommen in's Unglück stürzen! — Es wird hier bedenklich die Parallele weiter zu ziehen.

Der einsichtige oder auch nur praktische Müller wird sich durch diese Deklamationen und auch nicht durch den scharfsinnigen Beweis, dass wenn man immer Mahlgänge entferne und keine neuen wieder anschaffe, diese sich verminderen, und dass man mit weniger Gängen auch weniger Mehl machen könne, nicht irre machen lassen, sondern seine Rechnung anstellen, und erst Einhalt thun, wenn er es rentabel findet, das Betriebskapital nicht weiter zu reduciren.

Für den landwirthschaftlichen Betrieb ist es nun allerdings schwieriger, das Zusammenwirken der Produktionsbedingungen zu überblicken; aber eine gewissenhafte Prüfung wird einen Jeden zu der Einsicht führen, dass man genau denselben Fehlschluss macht, wie der kleine Sohn des Müllers in unserem Vergleich, wenn man aus den sehr bekannten Betrachtungen über den Raubbau jene Folgerungen zieht, die schon manches Gemüth geängstigt haben, es sei denn, dass man im einzelnen Fall nachgewiesen hat, der Raubbau sei ein unwirthschaftlicher, der Betrieb verlange eine grössere Sättigung des Bodens mit Düngerkapital. Der Unterschied bei den beiden verglichenen technischen Betrieben liegt lediglich darin,

Vierzigste Vorlesung.

Die Düngung vom wirthschaftlichen Standpunkte aus. — Wirthschaftliche Schlussfolgerungen.

Die Anwendung sehr einfacher wirthschaftlicher Gesetzmässigkeiten auf den Pflanzenbau und speziell auf die Düngung hat uns in der letzten Vorlesung zu einem bestimmten Resultate geführt. Wir sind durch unsere angestellten Betrachtungen zu der Einsicht gelangt, dass es nicht unter allen Umständen das wirthschaftlich Richtige sein kann, genau das dem Boden zu ersetzen, was man durch die Entnahme der Ernte demselben entnommen hat, auch nicht speziell in Bezug auf die Aschenbestandtheile. Wir haben vielmehr erkannt, dass die *Sättigung des Bodens mit Düngerkapital in einer innigen Beziehung stehen muss zu der Grösse des Markts für landwirthschaftliche Produkte, dass es von dem Bedarf nach diesen abhängen muss, ob eine Verminderung, eine Vermehrung jenes Kapitals, ob ein Gleichbleiben desselben eintreten muss*, dass jede stetige Verminderung des Düngerkapitals bei gleichbleibendem Bedarf zu einer Grenze führen muss, wo eine weitere Verminderung unwirthschaftlich wird, und dass diese Grenze bei ansteigender Nachfrage nach landwirthschaftlichen Produkten um so eher erreicht wird, — dass ebenso jede stetige Vermehrung des Düngerkapitals bei gleichbleibendem Bedarf zu einer Grenze führen muss, wo eine weitere Vermehrung unwirthschaftlich wird, dass diese Grenze um so eher erreicht wird, wenn der Bedarf abnimmt, um so später, wenn dieser gleichzeitig zunimmt. — Bei völliger Constanz des Bedarfs wird schliesslich für eine jede Bewirthschaftung der Punkt eintreten, wo der möglichst*) genaue Ersatz des Entnommenen das einzig wirthschaftliche Richtige ist.

Dieses Resultat, zu welchem uns die angestellten wirthschaftlichen Betrachtungen geführt haben, erlaubt nun wichtige Schlussfolgerungen in mehrfacher Hinsicht. Einmal ist uns durch dasselbe in unverkennbar deutlicher Weise der Weg vorgezeichnet, den wir hinsichtlich unserer Düngungsmethoden zu gehen haben; andererseits gibt es uns Aufschluss über die kulturgeschichtliche Entwickelung dieser Methoden und beruhigt uns über die Folgen einseitiger Düngungsmethoden ganzer historischer Epochen, während uns jene Folgen bei Nichtbeachtung der besprochenen Gesetzmässigkeiten unfehlbar als verderbliche erschreckt haben würden.

Es ist zunächst in Bezug auf den ersteren Punkt zu wiederholen, dass in der grossen Mannigfaltigkeit der möglichen oder existirenden Fälle, der einfache Wiederersatz des Entnommenen oder zu Entnehmenden nicht das wirthschaftlich Richtige

---

dass bei jener Mühle entweder ein wirthschaftlicher Fehlgriff vorhergehen oder eine Verkleinerung des Marktes eintreten muss, um jene Erscheinung der nothwendigen Verkleinerung des Betriebskapitals hervorzubringen, dass dagegen bei den Ackerfeldern jenes Kapital ursprünglich in denselben vorhanden war und doch aus den namhaft gemachten Gründen nicht als solches betrachtet wurde.

*) So weit er eben durch die zur Verfügung stehenden Düngematerialien in Bezug auf die einzelnen Nährstoffe genau gegeben werden kann.

sein kann, dass es in keiner Weise angeht, ein Düngesystem, welches für alle oder auch nur eine grosse Anzahl von Verhältnissen ein rentables ist, auf das Prinzip zu gründen, dass in der gegebenen Düngung dieselbe Menge Phosphorsäure, Kali u. s. f. enthalten sein muss, als davon in der entsprechenden Anzahl von Ernten weggenommen wurde oder weggenommen werden soll. Bei der weiteren Ausführung dieses Gegenstandes haben wir es nur noch mit der Beibringung weiterer Belege für die Unrentabilität der Ersatzmethode zu thun, während uns dann nachher die eingehendere Behandlung der möglichen Folgen des Versäumens der Ersatzleistung von der Ungefährlichkeit des sogenannten Raubbaus überzeugen wird. Es ist von einiger Wichtigkeit, Beides auseinanderzuhalten, da auch trotz der üblen Folgen die von der Unterlassung des Ersatzes erwartet werden kann, der Nachweis der Unrentabilität für die Zwecke der Privatwirthschaft genügt, und in diesem Falle es lediglich Staatssache wäre, durch eine geeignete „Düngerpolitik" den befürchteten Missständen vorzubeugen. Die Vermengung beider Dinge hat bei Einigen zu den unbilligsten Anforderungen an die einzelnen Wirthschaftenden geführt.

Dass eine Düngung, welche in möglichst günstiger Form nach dem Prinzip des Wiederersatzes gegeben wird, eine höchst unrentable Operation sein kann, ergibt sich in sehr einfacher und leichtverständlicher Weise ebenso wie aus den gründlichen Darlegungen der letzten Vorlesung auch aus folgender einfachen Betrachtung.

Wir wissen, dass niemals eine Düngung eine Rente zu geben vermag, wenn sie nicht im Stande ist, einen Mehrertrag zu bewirken; aber nicht jeder bewirkte Mehrertrag entspricht einer Rente. Zu untersuchen, wann eine Düngung eine rentable ist, heisst untersuchen, erstens, *unter welchen Umständen sie einen Mehrertrag bewirkt,* zweitens, *unter welchen Umständen dieser ein rentabler ist.* — Die erste Frage ist rein naturwissenschaftlicher, die zweite rein wirthschaftlicher Natur.

Aus dem in der letzten Vorlesung noch einmal in seiner vollen Bedeutung dargelegten Gesetze des Minimums folgt unwiderleglich, dass die einseitige Zufuhr von Düngestoffen nur dann einen Mehrertrag bewirken kann, wenn die schon im Boden vorhandenen Mengen von Düngestoffen im Minimum gegen die andern Produktionsfaktoren der Pflanzenwelt, die der Landwirth nicht willkürlich in gleicher Weise zu vermehren vermag, vorhanden sind. Jener äusserste Fall, in dem eine Düngung (natürlich stets unter der Voraussetzung der zweckmässigen Form dieser Düngung) nicht mehr den geringsten Mehrertrag einer ungedüngten Parzelle gegenüber zu liefern vermag, findet sich nun allerdings in den thatsächlichen Verhältnissen der praktischen Landwirthschaft ausnehmend selten realisirt. Es ist jedoch bekannt, dass es Länder gibt, wo selbst der kostenlos zu Gebote stehende natürliche Dünger keinen Mehrertrag zu geben vermag, vom Landwirth verschmäht und in die Flüsse*) geworfen wird. Es braucht nicht hinzugesetzt zu werden, dass dieser für unsere Begriffe so fremdartig erscheinende Betrieb nur so lange besteht, bis in Folge eben dieses üblichen Raubbaues die Düngerbestandtheile gegenüber den andern Produktionsfaktoren ins Minimum gerathen sind, und eine Zufuhr jener Bestandtheile natur-

*) Ich erinnere an die noch jetzt bestehenden Betriebsmethoden Südrusslands, Ungarns, vieler tropischen Länder u. s. w.; vergl. meinen Aufsatz bad. landw. Wochenbl. 1870 Nr. 42.

gemäss Mehrerträge zu liefern vermag. Dass unter solchen Verhältnissen, die ich als äusserste Grenze hier angeführt habe, wo also einer Düngung kein Mehrertrag entspricht, von der Rentabilität einer solchen nicht die Rede sein kann, ist selbstverständlich.

Aber auch für unsere Verhältnisse, für Bodenarten von relativ geringerem Gehalt an Düngerbestandtheilen gelten dieselben Gesetze, wenn auch denselben in den üblichen Düngerlehren wenig Beachtung geschenkt wird, und der Landwirth erkennt sie in seiner Praxis unbewusst völlig an. Dieser Letztere weiss sehr wohl, dass eine und dieselbe Düngermenge einen weit geringeren Mehrertrag erzeugen würde, wenn er dieselbe stets auf ein einziges Feld aufbringen, die übrigen Felder ungedüngt lassen wollte; er würde sicherlich Jeden verlachen, der ihm ein solches Verfahren anrathen und ihm demonstriren würde, dass die Vertheilung der Düngestoffe ein höchst gleichgültiges Ding sei, dass einer und derselben Menge von Pflanzennährstoffen stets eine und dieselbe Menge producirter Pflanzensubstanz entspräche. Ich sage, der Landwirth erkennt durch seine Praxis, die darin besteht, die vorhandene Düngermasse mehr oder weniger gleichmässig auf sein ganzes Areal zu vertheilen, das oben erläuterte Gesetz vollständig an, dass die einseitige Vermehrung der Düngestoffe gegenüber den übrigen Produktionsfaktoren, auf deren Zufuhr er nicht einzuwirken vermag, nicht eine gleiche Vermehrung der Gesammtproduktion zur Folge haben kann.

Es folgt aus dieser Betrachtung aber unwiderleglich, dass eine und dieselbe Menge von Düngestoffen bei Anbau einer und derselben Frucht unter absoluter Gleichheit der Witterungsverhältnisse und des Klima's sehr ungleiche Produktionen von Pflanzensubstanz veranlasst, dass die Höhe dieser Produktion abhängig sein muss von dem Düngungsstand des Feldes, von der Menge der Pflanzennährstoffe, die schon in der Ackerkrume für den Pflanzenbau zur Verfügung standen, dass diese Produktion von einer gewissen Stufe an um so geringer sein wird, je reicher der Acker schon mit Düngestoffen versehen ist, gleichgültig, ob diese ursprüngliche Bestandtheile des Bodens waren oder durch Düngung zugeführt worden sind.

Wir ersehen also mit Bestimmtheit, ohne noch auf den Preis des Mehrertrags Rücksicht zu nehmen, dass eine Düngung, mag sie auch von dem Gesichtspunkt des Wiederersatzes aus vorgenommen sein, dennoch unter gewissen Umständen, die allerdings unsern Verhältnissen fremd sind, überhaupt keinen Mehrertrag zu liefern vermag und dann natürlich eine höchst unrentable Operation ist, oder dass eine solche doch bei verschiedenen Düngungsständen des Ackers sehr verschiedene Mehrerträge liefern muss, woraus also mit Sicherheit geschlossen werden kann, dass der Wiederersatz an sich nicht die Rentabilität der Düngung bedingt, dass derselbe vom Standpunkt der Rentabilität aus vielmehr in vielen concreten Fällen eine unzweckmässige Düngung sein muss, und dass in diesen Fällen vom Landwirthe ohne alle Widerrede geradezu Opfer gefordert werden, wenn man ihm die Düngung nach dem Prinzip des Wiederersatzes zumuthet.

Um jedoch weiter zu untersuchen, unter welchen Umständen die durch eine Düngung erzielten Mehrerträge rentable sein können, müssen wir auf das *wirthschaftliche* Gebiet übergehen. Wir werden die Frage selbstverständlich dahin zu beantworten haben, dass bei einer rentablen Düngung der Preis der durch die Dün-

gung eine Reihe von Jahren hindurch bewirkten Mehrerträge den Preis der Düngungskosten um so viel übersteigen muss, als ein angemessener Zins und Zinseszins dieses letzteren Kapitals für so viel Jahre, als der Dünger zu seiner Wirksamkeit bedurfte, beträgt. Bei Berücksichtigung dieser Verhältnisse, in denen wir wieder auf das am Schlusse der letzten Vorlesung Ausgeführte zurückkommen, wird die Sachlage noch wesentlich complicirter. Nur so viel sei nochmals hervorgehoben, dass die Rentabilität einer Düngung bedingt ist von dem Preis der landwirthschaftlichen Produkte, also von der Höhe der Bevölkerung und der Beschränkung des Produktenmarktes, zweitens von dem landesüblichen Zinsfuss und drittens von dem Düngerpreis, also soweit es sich z. B. um künstliche Dünger handelt, von ganz ausserhalb der landwirthschaftlichen Verhältnisse liegenden Produktions- und Transportkosten. *Ein und derselbe Mehrertrag* wird sehr verschieden rentabel sein können, je nachdem diese Verhältnisse verschiedene sind, er wird sich um so mehr bezahlt machen, je grösser die Nachfrage nach landwirthschaftlichen Produkten, je dichter die Bevölkerung ist, je niedriger andererseits der Zinsfuss, die Produktionskosten des verwendeten Dünger und dessen Transportkosten sind.

Wir sehen, dass mit Berücksichtigung dieser wirthschaftlichen Verhältnisse mit um so grösserer Gewissheit der Satz ausgesprochen werden muss, dass die Rentabilität einer Düngung nicht abhängig sein kann von irgend einer naturwissenschaftlichen Forderung, sei es auch die Forderung des Wiederersatzes. Wir wissen, dass eine beliebige Düngung bei ungleichem Reichthum des Bodens, aber bei Gleichheit aller übrigen Bedingungen ungleiche Mehrerträge bewirken muss, dass aber selbst gleiche Mehrerträge, hervorgebracht durch gleiche Düngungen, bei Ungleichheit der wirthschaftlichen Verhältnisse *rentabel oder unrentabel sein können.* *)

---

*) So überflüssig diese ganze letztere Darlegung einem Jeden erscheinen wird, der auch nur eine entfernte Bekanntschaft mit den wirthschaftlichen Gesetzen gemacht hat, so nothwendig ist es, diesen Gegenstand namentlich in einem Lehrbuche mit aller möglichen Ausführlichkeit zu behandeln, da das unüberlegte Treiben vieler unserer heutigen Agrikulturchemiker nur zu deutlich zeigt, wie wenig jene Gesetze von ihnen gekannt und berücksichtigt werden. Dieselben gleichen darin nur zu sehr ihrem grossen Meister Liebig, ohne diesen aber freilich in der Grossartigkeit der Behandlungsweise rein naturwissenschaftlicher Fragen und in dem Reichthum an fruchtbaren Ideen entfernt zu erreichen. Noch täglich erscheinen Abhandlungen und Werkchen, welche die Herrschaft des bezeichneten Irrthums in manchen Köpfen, von denen der praktische Landwirth Rathes zu holen sich angewiesen sieht, aufs Schlagendste bekunden. Ich nenne hier: Dr. G. Heppe: Praktische Düngetafel. Berlin 1869. C. Mandelblüh: Tabellen zur Berechnung der Bodenerschöpfung und des Bodenkraftersatzes. Leipzig 1870. Derartige jetzt in populären Vorlesungen Mode gewordenen Tabellen, auf denen der Aschengehalt unserer Kulturgewächse nach einzelnen Stoffen geordnet, und die Entnahme an diesen durch mittlere Ernten verzeichnet steht, haben zunächst für die *praktische* Düngungsfrage nicht den geringsten Werth, sie können nur dazu dienen, unsere theoretischen Anschauungen von dem Wesen der Düngung, denen wir aber keine direkte Wirkung auf die Praxis zuerkennen können, nach und nach weiter auszubilden. *Die Motiviruug irgend einer Düngung durch eine solche Aschentabelle ist immer nur eine scheinbare.* Einen noch härteren Tadel — weil die Absicht dieses Vorgehens keine verschiedene Deutung zulässt — verdienen indessen jene kritiklosesten Anhänger der Ersatzlehre, welche noch heute, wie Zöller (vgl. Oekonom. Fortschritte 1869. p. 331) und A. Blankenhorn (vergl. Annal. d. Oenologie I. p. 161) dem Landwirth die Führung eines „landwirthschaft-

In neuerer Zeit wird die Lehre vom nothwendigen Wiederersatz in etwas abweichender Weise gepredigt, indem man nicht den Ersatz des Entnommenen, sondern des voraussichtlich durch die kommende Ernte zu Entnehmenden vorschreibt. Diese Methode liefert naturgemäss Resultate, die in ihrer praktischen Anwendung weniger grell die Unzulässigkeit jenes Postulats demonstriren, im speziellen Falle sogar, namentlich für unsere landwirthschaftlichen Verhältnisse sehr rentabel sein können.

Dieser Modus ist in neuester Zeit von Drechsler vertreten worden, der in seiner Schrift*) zwar über die alte landwirthschaftliche Statik, die die Wiederherstellung der Fruchtbarkeit eines Feldes auf den vor einer gewissen Anzahl von Ernten innegehabten Stand verlangt, das Todesurtheil ausspricht, aber doch dieses Postulat nur in der Weise modificirt, dass er die Felder so gedüngt wissen will, dass sie im Voraus Das enthalten, was eine Ernte oder eine Reihe von Ernten voraussichtlich wegnehmen wird. Diese Art und Weise der Düngung mag nun allerdings in sofern ein Fortschritt sein, als sie das spezielle Nährstoffbedürfniss der einzelnen Feldfrüchte berücksichtigt, auf welches nach der alten Methode nur durch die Anordnung des Fruchtwechsels Rücksicht genommen wurde; aber auch in dieser liegt das völlige Verkennen der eben entwickelten Gesetzmässigkeiten von der Regulirung der Grösse des zur Produktion dienenden Düngerkapitals durch äussere wirthschaftliche Verhältnisse.

Die landwirthschaftliche Statik hatte sich ursprünglich die Aufgabe gestellt, die Erschöpfung des Bodenreichthums durch die Ernteentnahme und die Wiederherstellung dieses Bodenreichthums durch Düngerzufuhr, Brache, sogenannte bereichernde Gewächse zu ermitteln und in Zahlen auszudrücken, aber immer von der Voraussetzung ausgehend, dass eben die Herstellung des ursprünglichen Bodenreichthums nach einer gewissen Rotation unter allen Umständen die Aufgabe des rationellen Landwirths sei. Die Statiker der älteren Schule**) suchten diese Zahlen auf empirischem Wege zu ermitteln, scheiterten aber naturgemäss an dem Umstand, dass ihre Werthe Aggregate sehr verschiedener Fruchtbarkeitsbedingungen, die sich gegenseitig nicht vertreten konnten, darstellten, so dass die mühsam gewonnenen Resultate nur in einzelnen Fällen***) passen konnten. Man musste unter diesen Umständen bei Berechnung der nothwendigen Düngungen auf dieselben Unzulässigkeiten stossen, zu denen man auf einem ähnlichen (rein empirischen) Wege bei Berechnung von Futterrationen nach Heuwerthen gelangt war.

Nachdem es jedoch später möglich war, die Zahlen, die in der Statik fungirten, in ihre einfachen Componenten aufzulösen, wie Dies von Birnbaum†) und Schu-

---

lichen Lagerbuchs“ über das „Soll und Haben“ der Bodenfruchtbarkeit und dergl. zumuthen und so direkt in der Praxis die Entwickelung oder Beibehaltung gesunder Düngungsprincipien verhindern. Vergl. übrigens auch die analogen Ausführungen des Grafen Seilern: Die Pflanzenernährungslehre 1865. p. 242.

*) Drechsler: Die Statik des Landbaues u. s. w. Göttingen 1869; vergl. auch Preuss. Annal. d. Landw. 1869. Wbl. Nr. 26. p. 244.

**) Thaer, Wulffen, Hlubeck, Thünen, Kleemann.

***) Vergl. Drechsler's Beurtheilung der von Kleemann ermittelten Zahlen a. a. O. p. 94; vergl. auch 12. Vorlesung p. 196.

†) Birnbaum: Lehrb. der Landw. Frankfurt a. M. 1863. Th. III. Betriebsl. p. 137.

macher *) versucht wurde, war eine Berechnung des Wiederersatzes, soweit brauchbare Analysen vorlagen, thatsächlich möglich; aber nun ergab sich, dass die Anwendung eines statischen Gesetzes in der Praxis zu einer sehr unrentablen Wirthschaft führte — eine Thatsache, die vorher, bei der mehr oder weniger willkürlichen Wahl der statischen Zahlen, verborgen bleiben konnte. Drechsler berichtet selbst in dem Vorwort seiner Schrift, dass nach seiner Erfahrung als praktischer Landwirth „die erfahrungsmässig richtige Düngung durchaus nicht übereinstimmt mit der nach Massgabe der berechneten Erschöpfung erforderlichen Düngung."

Ebenso geht die Drechsler'sche Modification jener Lehre — und sie ist in der That Nichts Anderes — von dem Gedanken der Constanz des Düngerkapitals aus. Er selbst steht in seinen Rathschlägen auf dem Boden der Liebig'schen Ersatzlehre, und der ganze Unterschied von der früheren Lehre besteht lediglich darin, dass er die Düngung in einer Weise angeordnet wissen will, die es gestattet, den Bedarf der einzelnen Kulturpflanzen der Fruchtfolge an Nährstoffen möglichst zu berücksichtigen. Dieser Unterschied mag allerdings von erheblicher praktischer Wichtigkeit sein, in sofern es gelingen mag, in vielen Fällen nach der Drechsler-schen Anweisung zu wirthschaften, ohne auf grosse Schwierigkeiten zu stossen **), während die ältere Methode, wenigstens sobald man klar definirbare einfache Vegetationsbedingungen jenen complexen und auf empirischem Wege gefundenen substituirt, sofort den grellen Widerspruch zwischen der theoretischen Forderung und der praktischen Ausführbarkeit zeigt. Aber auch Drechsler ist in seinen Untersuchungen über die Ersatzlehre niemals auf den Gedanken gekommen, dass dieselbe auch in jener weiteren Form einen groben Irrthum in sich einschliessen, dass es wirthschaftliche Gesetze geben könne, die den Grad der Sättigung eines Ackers mit Nährstoffkapital stets abzuändern bestrebt sind.

Es könnte nach unserer bis dahin verfolgten Darstellung beinahe den Anschein gewinnen, als sei die naturwissenschaftliche Forschung gegenüber der praktischen Düngerfrage zu völliger Unfruchtbarkeit für jetzt und alle Zeiten verdammt, als habe die Theorie durchaus keine Berührungspunkte mit den in der Praxis der Düngung geltenden Massregeln und als könnten diese lediglich durch die rohe Empirie ermittelt werden. Wäre dem so, — dann allerdings wäre die Agrikulturchemie als Wissenschaft von praktischer Bedeutung gänzlich in Frage gestellt, und es wäre eine Thorheit der landwirthschaftlichen Vereine und der einzelnen grösseren Grundbesitzer, den landwirthschaftlichen Versuchsstationen mit Opferwilligkeit unter die Arme zu greifen, in der Hoffnung auf eine entsprechende Gegenleistung.

Allein ich bin weit entfernt, diese traurige Ansicht zu vertreten. Wir brauchen uns nur zu erinnern — und wir ersehen Dies auch aus dem Vergleich mit den Ländern, wo die praktische Erfahrung ohne alle Hülfe von Seiten der Naturwissen-

*) Schumacher: Erschöpfung und Ersatz bei dem Ackerbaue; Versuch einer Statik des Ackerbaues. Berlin 1866.

**) Allerdings vermag die Angabe Drechsler's, dass er im letzten Jahre seiner praktischen Thätigkeit seine neue Methode der Regulirung der Düngung schon als Richtschnur für die Nährstoffzufuhr benutzt habe, wenig dafür zu beweisen, dass die Anwendung seiner Methode nicht auch in jenem besonderen Fall auf praktische Schwierigkeiten stossen könne.

schaft wirthschaftet — welche Verbesserung die Düngungsmethoden durch Einsicht in die Pflanzenernährung, durch die begriffliche Trennung der rohen Düngermasse in einzelne wirksame Pflanzennährstoffe bereits erlitten haben. Wir waren durch diese Erkenntniss befähigt, billigere Bezugsquellen vieler Düngemittel, die für sich angewendet, nur in einzelnen Fällen eine Wirkung ausgeübt haben würden und darum vom praktischen Manne stets übersehen worden wären, aufzufinden, uns so werthvolle Surrogate für theure Dünger verhältnissmässig billig zu beschaffen, ausserdem viele praktische Versuche anzustellen mit Stoffen, die der Theorie nach *wahrscheinlich* eine Wirkung ausüben mussten, und so eine Menge praktischer Erfahrungen anzuregen, die ohne die Theorie niemals gemacht worden wären. Aber es kann andererseits nicht genug hervorgehoben werden, dass stets doch der praktische Düngungsversuch das einzige endgültig Massgebende sein kann, da die Verhältnisse, die in der Praxis mit in's Spiel kommen, unmöglich alle theoretisch übersehen werden können, überhaupt theilweise gar keiner theoretischen Behandlung fähig sind.

In der Deutung des praktischen Düngungsversuchs, dessen Resultat wir als das einzig endgültig Massgebende erkannt haben, liegen nun aber grosse Schwierigkeiten, und in der Besiegung derselben bietet sich ein reiches Feld der Wirksamkeit für diejenigen, die bestrebt sind. den Praktiker in der Düngungsfrage zu unterstützen. Es ist leicht einzusehen, warum der praktische Mann, der nur mit den Erfahrungen eines oder einiger wenigen Güter bekannt ist, selbst in der Regel nicht in der Lage ist, in etwas gemeingültigerer Weise den Düngewerth irgend eines Düngemittels kennen zu lernen und eine Norm geben zu können für den wahrscheinlich zu erzielenden Erfolg eines ihm bekannten Düngemittels auf einem ihm unbekannten Boden und noch viel weniger für den Düngungserfolg eines ihm unbekannten, nur nach der chemischen Zusammensetzung bekannten Düngemittels. Offenbar kommt es ja gerade darauf an, den wahrscheinlichen Erfolg für ein seinen Eigenschaften nach annäherungsweise bekanntes Feld mit einiger Bestimmtheit vorherzusagen, denn man will ja hauptsächlich über die Anwendbarkeit von Düngemitteln urtheilen, die bis dahin auf dem betreffenden Feld noch nicht angewendet worden sind.

Dass es, um in einem solchen Fall ein Urtheil abzugeben, unmöglich genügen kann, die Aschenzusammensetzung der zuletzt gebauten oder der zu bauenden Frucht und vielleicht deren Bedarf an Stickstoff zu berücksichtigen und sich die zweckmässigste Düngung nach diesem Ergebniss zu berechnen und zusammenzusetzen, dass es unmöglich genügen kann, auf den Kalireichthum einer Kulturpflanze aufmerksam zu machen und desshalb eine Kalidüngung zu empfehlen, Dies, hoffe ich, hat meine bisherige Darlegung deutlich gezeigt.

Die *Bedeutung des praktischen Düngungsversuches* und sein Verhältniss zu den physiologischen Pflanzenernährungsexperimenten liegt nun klar zu Tage. Wenn es von Seiten der Theoretiker in neuerer Zeit vielfach Sitte geworden ist, jenen zu schmähen, so darf Dies nur gelten in Bezug auf seine Verwerthbarkeit *als physiologisches Experiment.* Hierzu ist derselbe ein für alle Male untauglich, eben weil er unter sehr complicirten, nicht zu übersehenden Verhältnissen angestellt ist und keiner einfachen klaren Fragestellung entspricht, wie sie die theoretische Forschung unter allen Umständen erheischt. Genau ebenso wenig verwerthbar ist aber auch das zur Beantwortung gewisser Ernährungsfragen unternommene physiologische Ex-

periment direkt für die Verhältnisse der Landwirthschaft, und der kurzsichtige Praktiker hat ebenso viel Veranlassung, dieses als unnütz zu verwerfen.

Beide, der praktische Düngungsversuch sowohl wie das streng durchgeführte physiologische Experiment, haben ihre hohe unableugbare Bedeutung in ihrem Kreise, der Düngungsversuch direkt für die Zwecke der Praktiker, das physiologische Experiment für unsere naturwissenschaftliche Erkenntniss der Bedingungen des Pflanzenlebens und so indirekt für die Praxis. Der erstere ist nothwendig, weil es noch nicht und voraussichtlich noch lange nicht möglich ist, die Düngungsregeln in ihrem vollen Umfange aus der Kenntniss der Pflanzenernährung abzuleiten — das letztere, weil ausserdem doch ein Nutzen dieser Kenntniss für jene Regeln mit Leichtigkeit constatirt werden kann. *) **)

Wir kehren nun zu dem Ausgangspunkt dieser Vorlesung zurück und beginnen mit der Erörterung des andern uns daselbst vorgelegten Gegenstandes, *der möglichen Folgen einseitiger Düngungsmethoden.* Man kann offenbar sich auf den Standpunkt stellen, dass man die Unrentabilität der Düngung nach dem Prinzip des Ersatzes zugesteht, aber dennoch diesen Ersatz verlangt, weil man bei der Unterlassung jenes Prinzips schädliche Folgen für die Zukunft voraussieht, welche die Existenz späterer Generationen in Frage stellen. Man betrachtet damit das Postulat des Ersatzes nicht als Gegenstand der Privatwirthschaft, sondern ungefähr gerade wie die (für die Wirthschaft des Einzelnen) häufig unrentable Erhaltung der Wälder als einen Gegenstand der Staatsfürsorge, der man in diesem Falle die Handhabung einer „Düngerpolitik" zumuthet. Es handelt sich bei unserer weiteren Besprechung dieser Verhältnisse natürlich nicht um die Möglichkeit einer Kontrole, wie sie im angenommenen Falle dem Staate empfohlen werden müsste, sondern lediglich um die Begründung der gehegten Befürchtungen.

Schon die Ausführungen in der letzten Vorlesung berechtigten uns zu der Ansicht von der Ungefährlichkeit des sogenannten Raubbaus. Wir haben dort wenigstens gesehen, dass es wirthschaftliche Gesetzmässigkeiten gibt, welche die Verwendung einer grösseren oder kleineren Menge von Düngerkapital fordern und darum den Zufluss oder den Abfluss desselben reguliren — dass nur der kurzsichtige Mensch, der sein Dasein in einer einzigen solchen Periode verbringt, geneigt ist, Consequenzen aus der Beibehaltung der gerade herrschenden Methode zu ziehen, welche dess-

---

*) Ueber die Methoden der Handhabung des Düngungsversuches in der Landwirthschaft ist hier nicht der Ort, sich auszulassen. Ich berufe mich in Bezug auf dieselben auf meine Ausführungen im Bad. landw. Wochenbl. 1869. p. 353 u. f.

**) Es ist mit anderen Worten zur Erlangung von (für weitere oder engere Kreise gültigen) Düngungsregeln der statistische Weg zu betreten, welcher Nichts ist als die Erweiterung der praktischen Erfahrung, nach welcher der einzelne Landwirth von jeher sich ein Urtheil über den Düngewerth der einzelnen Stoffe für bestimmte Kulturen gebildet hat, über ein grosses Gebiet. Dieser Weg ist denn auch vielfach von den einsichtsvolleren Agrikulturchemikern (vergl. Stöckhardt: Jahresber. f. Agrik.-chem. 1862 — 63. p. 212) eingeschlagen worden. Freilich sind derartige Unternehmungen mehr Sache der Praktiker selbst.

Dass man mit der *Verallgemeinerung* praktisch gewonnener Düngungsresultate für andere Böden, Klimate u. s. w. sehr vorsichtig sein muss, bedarf kaum des besonderen Hinweises.

halb nicht zutreffen, weil die wirthschaftlichen Gesetze fort und fort thätig sind, diese Methoden (und je einseitiger sie sind, um so schneller) abzuändern.

Was indessen für die Ungefährlichkeit des Raubbaus gefolgert wurde, scheint durch einen Punkt, der damals, um die Frage nicht zu verwirren, ausser Acht gelassen wurde, in seiner Gültigkeit wesentlich beeinträchtigt zu werden, nemlich *durch die Beschränktheit des Düngermarkts.*

Die Beschränktheit des Düngermarktes, soweit sie ihren Grund zunächst darin hat, dass wir wirthschaftlich unfähig sind, einen grössern Theil des in einem Grundstück enthaltenen Düngerkapitals, als den in der Ernte enthaltenen, gerade umlaufenden Antheil desselben — wie Dies ja für viele andere Betriebskapitalien doch möglich ist — zu veräussern, da die Gewinnungsmethoden um das Vielfache theurer als die gewonnenen Düngestoffe selbt sein würden, scheint unsere Schlussfolgerungen allerdings nicht zu berühren, denn diese verhindert nicht den allmählichen Uebergang des Düngerkapitals in Ländereien,*) für die eine grössere Intensität des Anbaus am Platze ist.

Es tritt aber hierzu eine andere Beschränktheit des Düngermarkts von weit ernstlicheren Folgen für unsere Ableitungen. Ich meine *das gänzliche Verschwinden vom Markte eines grossen Theils des in extensiven Perioden von den Ländereien weggenommenen Düngerkapitals*, das dadurch eintritt, dass man menschliche (und in sehr extensiven Perioden auch thierische) Excremente dem Meere zuleitete, aus welchem das Düngerkapital nicht ohne Weiteres wieder gewonnen werden kann.

Man hat von gewisser Seite**) mit Recht auf diesen Umstand aufmerksam gemacht, und derselbe verdient natürlich eine sehr ernsthafte Erwägung. — Wenn in den betreffenden Betriebsperioden jene Düngestoffe den bezeichneten Weg gegangen sind, so geschah Dies, weil die Kosten der Ansammlung, des Transportes und des Aufbringens auf den Acker sich höher stellten, als der Preis der erzielten Mehrerträge. Es ist nun natürlich fehlerhaft,***) ohne Weiteres stillschweigend anzunehmen, dass jene Düngestoffe immer wieder zu demselben Preis zu haben sein werden, zu welchem sie zu kaufen man damals verschmähte. Sind dieselben überhaupt nicht mehr wieder zu erwerben, so ist der späteren Intensität des Betriebs eine engere Grenze gesetzt, als Dies sonst der Fall wäre, und der Vorwurf, dass der Raubbau auf Kosten unserer Nachkommen geschähe, erschiene völlig gerechtfertigt.

Es ist zunächst keiner Frage unterworfen, dass in dem Augenblicke, wo ich Thier- oder Menschenexcremente den Flüssen überliefere, ich *einen Theil von deren zukünftigem Werthe vernichte,* denn die Wiedergewinnung aus dem Meere macht

*) Durch Transport von Nahrungsmitteln aus extensiv bebauten Gegenden in intensiv bebaute, wo dann die Düngestoffe den letzteren Gegenden verbleiben.

**) v. Liebig: Die Chemie in ihrer Anw. u. s. w. 1862; Einl. i. d. Naturges. u. s. w.

***) Dieser Einwurf liesse sich denjenigen Gegnern der Liebig'schen Folgerungen machen, welche wie E. Wolff und v. Babo (vergl. Jahresber. f. Agrik.-chem. 1858—59, p. 236) hauptsächlich betonten, dass ausgeraubte Felder durch Düngung wieder fruchtbar gemacht werden könnten.

jedenfalls ungleich grössere Kosten, als die wenigen Manipulationen, die zur Verwerthung jener Düngestoffe auf dem Acker notwendig sind. Es kann zweitens keiner Frage unterworfen sein, dass schon bei gleichbleibender Bevölkerung ein Zeitpunkt eintreten muss, wo der volle Wiederersatz anfängt nothwendig zu werden, dass dagegen bei stets ansteigender Bevölkerung Zeiten kommen werden, wo heftige Nachfrage nach mehr Düngerkapital, als dem Boden erhalten blieb, stattfinden wird.

Wenn nun, so wird von jener Seite hervorgehoben, die Düngestoffe in einer solchen Periode nicht oder nur mit unsinnigem Kapitalaufwand zu haben sind, wenn sie sich an einem Orte befinden, aus dem ein Wiedergewinn unausführbar erscheint, so tritt unfehlbar eine Vertheuerung der Lebensmittel ein, die das Unglück späterer Generationen sein wird, eine Vertheuerung, die bei Sparsamkeit mit jener Stoffen offenbar zu vermeiden gewesen wäre.

Manche haben das Peinliche dieser Betrachtung zu mildern gesucht durch die Hoffnung, dass in Form von Vogelmistguano und Fischguano jene Stoffe aus dem Meer wieder gewonnen werden könnten, und dass, je reicher das Meer an Düngstoffen werde, desto leichter und naturgemässer eine solche Wiedergewinnung sich gestalten würde.

So beruhigend es sein mag, sich ohne Weiteres einer solchen Hoffnung hinzugeben, so schwer dürfte es sein, die Berechtigung zu der Nothwendigkeit eines solchen Verhaltens zu erweisen. Wenn wir auch zu allen Zeiten im Stande sein werden, Düngestoffe in der angedeuteten Weise dem Meere abzugewinnen, und wenn auch eine solche Gewinnung um so rentabler werden wird, je mehr sich ein Mangel an Düngerkapital geltend macht, so fragt es sich dennoch, ob nicht trotzdem jene gefürchtete Kalamität in ferne liegenden Zeiten eintreten wird, weil die Reproduktionskosten des Düngerkapitals sehr viel bedeutender sein werden, als die Kosten, die zur Erhaltung desselben aufzuwenden gewesen wären. — Hierin liegt offenbar der Kern der ganzen Frage.

Von jener Seite, von der die Pflicht des gewissenhaften Wiederersatzes, der Erhaltung der Bodenkraft auf das Leidenschaftlichste behauptet wird, ignorirt man auch hier wieder in gewohnter Weise die wirthschaftliche Seite der Frage. Man nimmt ohne weitere Debatte an, *dass die Erhaltung des Düngerkapitals* auf unsern Feldern durch Leistung eines vollständigen Wiederersatzes *Nichts koste*, während man die Reproduktion des verschleuderten Düngerkapitals in Zeiten der Noth zu den wirthschaftlichen Unmöglichkeiten rechnet. — Von anderer Seite scheint ebenso ungerechtfertigt angenommen zu werden, dass die Wiedergewinnung des Düngerkapitals aus dem Meere stets eine leicht auszuführende Operation sein werde.

Ich glaube nicht, dass wir im Stande sind, die Kosten der beiden Verfahren auch nur annähernd gegen einander abzuwägen. Hierzu gehören neben andern Dingen genaue Erfahrungen über die mögliche Ausdehnung der Fischguanofabrikation. Wir werden aber gleich sehen, wie wir dennoch mit Berücksichtigung eines bei der bisherigen Behandlung dieser Frage gänzlich vernachlässigten wirthschaftlichen Gesetzes im Stande sein werden, ein bestimmtes und entscheidendes Urtheil abzugeben.

Wenn ein Landwirth, welcher der Natur der von ihm erzielten Produkte nach zu der Ausfuhr eines Theils seines Düngerkapitals gezwungen ist und für den es —

ohne jetzt noch auf künftige Zeiten Rücksicht zu nehmen — ein wirthschaftlicher Missgriff ist, das ausgeführte Düngerkapital in irgend welcher Form wieder zu kaufen, da der durch dies Düngerkapital erzielte Mehrertrag und der Preiszuwachs des Ackers die Kosten von jener Operation nicht erreichen, sich dennoch entschliesst, jenen Wiederersatz zu leisten, so bringt er damit *ein gewisses jährliches Opfer* Diese Thatsache ist für die gemachte Voraussetzung natürlich unanfechtbar. Dass, ein solcher Wiederersatz unter Umständen unrentabel sein muss, kann nach den früheren Ausführungen nicht bestritten werden.

Es ist also nicht schwer einzusehen, dass die Erhaltung des Düngerkapitals für einen Acker oder ein ganzes Land, für das die natürliche Tendenz der Fortwanderung dieses Kapitals besteht, nicht kostenlos geschehen kann, dass Vorkehrungen, die jene Erhaltung bezwecken, nothwendig zur Folge haben, dass mit verhältnissmässig grösserem Aufwand verhältnissmässig wenig producirt wird, d. h. also theurer producirt wird, dass jene also mit Vertheuerung der Lebensmittel, mit ähnlichen Uebelständen für die Gegenwart verbunden sein würde, wie man sie für die Zukunft eben durch diese Massregeln verhüten wollte. Offenbar kann also nur die gewisse Voraussicht, dass die für die Zukunft zu vermeidenden Kalamitäten schlimmerer Natur sein würden, als die freiwillig von der gerade lebenden Generation zu übernehmenden, diese vernünftiger Weise dazu vermögen, das geforderte Opfer zu tragen.

Bei der Beurtheilung, ob ein Kapitalaufwand in einer gewissen Zeit überwogen wird von den dadurch bewirkten Ersparnissen in einer ganz anderen, vielleicht sehr ferne liegenden Zeit, ist jedoch vor Allem Etwas zu berücksichtigen, was bisher ganz ausser Acht gelassen worden ist. Ich meine die den Kapitalien innewohnende Fähigkeit, bei produktiver Verwendung neue Kapitalien zu erzeugen — ein Gesetz, dessen Wirksamkeit bekanntlich aus dem Gebrauch, Zinsen für ein geliehenes Kapital zu zahlen, ersehen werden kann.

Aus diesem Gesetze ergibt sich, wie Jedermann weiss, die Thatsache, dass das Opfer eines gewissen Kapitals in einer früheren Zeit nicht ausgeglichen wird durch den Gewinn eines gleichen Kapitals in einer späteren Zukunft, sondern das geopferte Kapital muss offenbar, wenn von einer wirthschaftlichen Operation die Rede ist, mit Zins und Zinseszins durch den späteren Gewinn wiedererhalten werden. Handelt es sich um grosse Zeitintervalle, Hunderte und gar Tausende von Jahren, so wird der Unterschied, der zwischen beiden Kapitalien bestehen muss, damit nicht das Opfer des ursprünglichen Kapitals eine verfehlte Spekulation war, ganz unglaublich gross sein. Auch bei einem ziemlich niedrigen Zinsfuss wird nach 100 Jahren das 50fache, nach 1000 Jahren etwa das 107000 Billionenfache des ursprünglichen Opfers erspart werden müssen, um das Darbringen desselben nicht als einen wirthschaftlichen Fehlgriff erscheinen zu lassen. Dieselbe Ursache also, die z. B. bewirkt, dass es rentabler ist, ein Haus für ein gewisses Kapital so herzustellen, dass es 20 Jahre aushält, dann aber abgebrochen werden muss, als ein ebenso zweckdienliches Haus für das doppelte Kapital so herzustellen, dass es 100 oder auch 200 Jahre aushält, wirkt hier noch in viel bedeutenderem Grade.

Diese Gesetze müssen nun selbstredend zu Rathe gezogen werden, wenn wir ein Kapitalopfer zu irgend einer Zeit mit der durch dasselbe in einer späten Zukunft bewirkten Ersparniss vergleichen. Es kann also in Anwendung auf den vor-

liegenden Fall gesagt werden: das Kapital, welches durch die möglichst wohlfeile Produktion gegenüber der Produktion bei völligem Wiederersatz gespart werden kann, ist im Stande, durch die natürliche Produktivkraft der Kapitalien in späterer Zeit eine ungeheuer viel grössere Wirkung hervorzubringen. Man wird sich zu einer Verwendung dieses Kapitals nur dann entschliessen können, wenn man die sichere Voraussicht hat, dass die einstige Ersparniss in einem solch' ungeheuerlichen Verhältnisse zu dem verwendeten Kapitale steht.

Aus diesen Erwägungen geht unzweifelhaft hervor, dass, wenn nicht nachgewiesener Massen der Wiedergewinn des dem Meere einverleibten Düngerkapitals, zu dem uns in grossem Massstabe erst sehr ferne Zeiten zwingen würden, in eben dem oder einem höhern Kapitalopfer besteht, als die Kapitalien, die durch möglichst rentable Kulturen diese ganze Zeit über erspart werden können, sammt Zins und Zinseszins für den ganzen Zeitintervall betragen, es ein wirthschaftlicher Fehlgriff ist, jene humane Sorge für spätere Geschlechter in der empfohlenen Weise in's Werk zu setzen.

Ich glaube, dass Niemand bei den in vielen Fällen ausserordentlich grossen Zeiträumen, um die es sich hier handelt, und bei der jetzt schon möglichen und nachgewiesener Massen häufig rentablen Anwendung von Fischguano, die Befürchtung aufrecht erhalten wird, dass der Wiedergewinn des verlorenen Düngerkapitals so ganz unfasslich schwierig sein wird. Dies zugegeben, werden die Nationen in weit vortheilhafterer Weise für die späteren Generationen Sorge tragen, wenn die möglichen Ersparnisse auf eine Art als Produktivkapitalien angelegt werden, dass sie durch reiche und stete Produktion das Nationalvermögen vergrössern, in welcher Weise ausgestattet eine Nation am Sichersten dem Sturme schlimmer Zeiten entgegen gehen wird. *)

Hierbei wurden nun die äussersten möglicher Weise eintretenden Eventualitäten berücksichtigt und für diese gezeigt, einen welch' hohen Einsatz man mit dem Postulat des völligen Wiederersatzes der Düngerbestandtheile für einen wie kleinen und mit geringer Wahrscheinlichkeit eintreffenden Gewinn verlangt. Hierbei wurde aber noch gar nicht berücksichtigt, dass die Voraussetzungen, für die wir den Erweis der Unwirthschaftlichkeit des Wiederersatzes beigebracht haben, nach menschlicher Einsicht wohl niemals zutreffen möchten. Es wurde stillschweigend die Voraussetzung gemacht, dass die ganze, jetzt noch für eine jede herrschende Betriebsmethode hinreichend mit Düngerkapital versehene Erdoberfläche, keine Ausfuhr an Düngestoffen mehr vertrüge, dass ferner ein Theil derselben dringend der Zufuhr an solchen bedürfe; denn sonst könnte offenbar ein kostenloser Transport des Düngerkapitals in Form von Nahrungsmitteln von dem extensiver bewirthschafteten Ort nach dem intensiver bewirthschafteten stattfinden. Man bedenke den Grad der Bevölkerung, den

---

*) Ueberlegt man genau, was denn eigentlich das Postulat, stets in der Zeiteinheit dem Boden wieder zu geben, was man ihm genommen hat, verlangt, so muss man in der That zugestehen, dass der Gedanke an eine solche Conservirung des Düngerkapitals eben so abenteuerlich ist, wie ein Vorschlag, Getreide (gute Erhaltungsmethoden vorausgesetzt) Jahrhunderte lang bis zu Perioden aufzubewahren, wo in Folge von Uebervölkerung eine verhältnissmässige Theuerung an diesem Lebensmittel eingetreten sein wird.

diese Voraussetzung einschliesst. Man bedenke die Grösse der festen Erdoberfläche und die Kleinheit desjenigen Theils, der einem beträchtlichen Raubbau unterworfen ist.

Wir sind jedoch hiermit noch nicht zu Ende; wir müssen noch näher auf die Stoffe eingehen, die durch den sogenannten Raubbau eine gefährliche Verminderung erleiden können. Es sind Dies für die meisten Bodenarten bekanntlich der gebundene Stickstoff, das Kali und die Phosphorsäure. Für alle übrigen kann an ernstliche Schwierigkeiten in Folge der Ausraubung gar nicht gedacht werden.

Der gebundene *Stickstoff* ist einer Vermehrung durch die Natur und die Kunst fähig, und die Ausnutzung dieses Nährstoffs für die Landwirthschaft ist durch die Wahl der Kulturgewächse jeder Zeit in unsere Hand gegeben. Es ist kein Zweifel, dass wir durch geeignete Kulturmethoden im Stande sind, ohne Zukauf von Düngemiteln unsere Ackererde an diesem Stoffe zu bereichern*). Der Stickstoff kann daher bei unserer Betrachtung völlig vernachlässigt werden, und für denselben st auch von keiner Seite eine gefahrdrohende Verminderung durch Raubbau behauptet worden.

Für das *Kali* brauchen wir noch viel weniger die geringste Befürchtung zu hegen. Der Raubbau in Bezug auf Kali ist ausserordentlich gering, da die Aschenbestandtheile der kalireichsten Kulturgewächse grossentheils wieder (mit Ausnahme der Tabakasche) in den Boden zurückgelangen. Ausserdem ist der Kalireichthum unserer Böden durchschnittlich so bedeutend, dass selbst da, wo wie bei Runkelrübenbau starke Kaliausfuhr besteht, dennoch eine Düngung mit den so billigen Stassfurther Salzen häufig nicht oder nicht mehr in grösserer Entfernung von Stassfurt rentabel ist. Da wir nun den allergrössten Reichthum auf der Erdoberfläche an Kali in Form von Salzlagern und Felsarten besitzen, so ist für diese Stoffe nicht die allergeringste Begründung zu der Befürchtung vorhanden, dass einst durch die Verschleppung eines Theils derselben in's Weltmeer ernstliche Missstände für die Zukunft zu erwarten seien.

Am Gefährlichsten erscheint die Raubwirthschaft für die *Phosphorsäure*, und wenn man die schlimmen Folgen dieser Wirthschaft in's rechte Licht setzen wollte, so bezogen sich die Betrachtungen stets vorzugsweise auf diesen Pflanzennährstoff**). Dieselbe tritt in ziemlich hohen Verhältnissen als nothwendige Bedingung des Pflanzenwachsthums auf; sie ist, wenn auch überall, doch nur sehr sparsam in der Ackerkrume vorhanden. Für sie muss der Raubbau also zunächst fühlbar werden. Die so allgemeine Rentabilität der Superphosphat- und ähnlich zusammengesetzer Düngungen für unsere Verhältnisse beweist, dass in Bezug auf Phosphorsäure wir in dem kultivirtesten Theil von Europa auf dem Punkt angekommen sind, wo der strenge Wiederersatz vielleicht eine Bereicherung dringend geboten erscheint. Aber auch für diesen Stoff sind viel reichhaltigere Quellen, als man Anfangs vermuthen konnte, für den Ackerbau erschlossen***) worden, und werden deren täglich neue entdeckt.

---

*) Vergl. die elfte und die zwölfte Vorlesung p. 185.

**) Vergl. v. Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung u. s. w. 1862. Einltg. p. 117, p. 130 u. Th. II. p. 287.

***) Siehe J. Au: Die Hilfsdüngemittel. Heidelberg u. s. w. 1869. p. 382—83.

Gerade dass man zu Mineralphosphat-Düngungen schreitet, noch ehe man den Phosphorsäure-reichen Menschendünger vollständig verwerthet. Dies beweist, wie leicht jene Quellen nutzbar gemacht werden können. Auch in Bezug auf diesen Bestandtheil des Düngerkapitals ist unsere Armuth sehr übertrieben worden, auch für diesen Stoff wird eine neue Bereicherung der Ackererde noch möglich sein, wenn einst die Verhältnisse mehr als den blossen Wiederersatz erheischen. Eine allgemein sich vergrössernde Nachfrage nach landwirthschaftlichen Produkten würde zunächst ein vollkommeneres Aufsammlungssystem unserer menschlichen Auswurfstoffe nach sich ziehen, dann uns lehren, die phosphorreichen Produkte des Meeres in höherem Masse für die Landwirthschaft zu verwenden, wenn auch alle übrigen phosphorreichen Materialien verbraucht sein sollten.

So sehen wir das Gespenst des Raubbaus*) in sein Nichts zusammensinken, wenn wir nur wagen, ihm fest in's Angesicht zu blicken. Jene Consequenzen sind gezogen worden ohne Kenntniss der wirthschaftlichen Gesetze der landwirthschaftlichen Produktion, mit Uebertreibung der thatsächlichen Verhältnisse und unter Voraussetzungen, die in Wirklichkeit nicht statthaben oder nicht dauernd statthaben können.

Das bei der Pflanzenproduktion sich betheiligende Düngerkapital ist denselben Gesetzen unterworfen, wie ein jedes andere Betriebskapital. Da es sich jedoch in den von uns übernommenen Grundstücken in — hinsichtlich unserer wirthschaftlichen Verhältnisse — zufälligen Mengen vorfindet, so tritt Jahrhunderte lang eine Betriebsmethode ein, die den Ausgleich dieses Betriebskapitals mit unseren Verhältnissen bewirkt. Es ist Kurzsichtigkeit, zu glauben, eine solche Methode werde nun ewig dauern, und Consequenzen zu ziehen für die Voraussetzung einer solchen ewigen Dauer.

Die Meinung, dass der Raubbau in seinen Folgen nicht wieder ausgeglichen, das verlorengegangene Düngerkapital nicht wieder gewonnen werden könne, ist völlig unbegründet und die Massregel, das Düngerkapital, welches einmal in den Grundstücken enthalten ist, denselben durch alle Perioden hindurch zu erhalten, erscheint als ein schwerwiegender Missgriff.

Das erlangte Resultat befähigt uns aber noch zu einigen weiteren Folgerungen in Bezug auf wichtige Tagesfragen, die, obwohl sie sich bei consequenter Anwendung der geltend gemachten Principien ganz von selbst ergeben, einer besonderen Betonung immerhin werth erscheinen.

So hat man z. B. vielfach Gelegenheit genommen, wegen der unvollständigen Ausnutzung menschlicher Düngestoffe viele unserer städtischen Latrinensysteme als verderblich zu bezeichnen und uns eine Düngerwirthschaft nach chinesischem und japanesischem Muster anzuempfehlen. Bei Ventilation der Fragen, ob Kanalisation oder Abfuhr für diese oder jene Stadt einzuführen sei, wird vor Allem neben Gesundheitsrücksichten stets die landwirthschaftliche Seite der Frage in den Vordergrund gestellt und ängstlich darauf Rücksicht genommen, ob bei dem einzuführenden System Stoffe für die Landwirthschaft verloren gehen oder nicht.

---

*) Diejenigen Länder, in welchen früher eine intensive Kultur geherrscht hat, und welche wir nun zu erstaunlicher Unfruchtbarkeit verdammt sehen, sind Dies nachweislich oder wahrscheinlich nur, weil eine andere Vegetationsbedingung, das Wasser aus denselben in Folge des Verfalls von Wasserleitungen und des unvorsichtigen Niederschlagens der Wälder verschwunden ist; vgl. Conrad: Liebig's Ans. v. d. Bodenerschöpfung u. s. w. 1864.

Ich bin nun der Ansicht, dass beinahe Alles, was in neuerer Zeit über diesen Gegenstand geschrieben *) oder gesprochen worden ist, mehr oder weniger unter dem Druck des Gedankens geschrieben und gesprochen wurde, dass unsere landwirthschaftlichen Betriebssysteme Raubsysteme **) seien, deren schlimmen Folgen man durch künstliche Mittel entgegenzuwirken verpflichtet sei.

Während man bei allen übrigen technischen Betrieben dem Grundsatz huldigte, dass es nicht nöthig, ja sogar verderblich sei, auf eine künstliche Weise für den Zufluss und den Umlauf der Betriebskapitalien zu sorgen, indem man wohl wusste, dass die natürlichen wirthschaftlichen Gesetze deren Zufluss und Umlauf in möglichst zweckmässigster Weise veranlassen, während man auch im Allgemeinen zugab, dass zwischen landwirthschaftlicher Produktion und der Produktion anderer Gewerbe in Hinsicht auf deren Regelung durch gemeingültige Gesetze und deren nationalökonomische Wichtigkeit nicht der geringste Unterschied bestehe, schlich sich in Bezug auf die angezogenen Fragen doch meistens eine bedeutende Inconsequenz ein, die neben den für den Laien schwer zu unterdrückenden physiokratischen Gedanken, dass die landwirthschaftliche Produktion doch eigentlich die wichtigste aller Produktionen ***) sei, durch die beunruhigenden Sorgen, die sich an die Idee des Raubbaus knüpften, erzeugt ward.

Es fällt uns wenigstens bei einer sanitätspolizeilichen Massregel, die z. B. Desinfektion mit Eisenvitriol vorschreibt, niemals ein, dass in Folge derselben ein Rohmaterial des Färbereibetriebs vertheuert werden könnte, und wir auf diese Weise die genannte Fabrikation erschweren; denn wir sind uns hier sehr wohl bewusst, dass es wirthschaftliche Gesetze gibt, die ein jedes produktive Kapital derjenigen Produktion zuströmen lassen, bei der es im Stande ist, am Meisten neue Güter zu erzeugen.

Für die landwirthschaftliche Produktion gelten in der That ganz dieselben Gesetze wie für jede andere Produktion, und nur jene vorhin berührten Umstände sind es, die uns überreden wollen, dass bei derselben ganz andere Gesetze thätig seien, dass das Düngerkapital nicht wie andere Betriebskapitalien das Bestreben habe, sich selbst zu erhalten, sondern dass es stets seinem Untergange entgegenrenne, so dass es durch eigenthümliche und ganz raffinirte Mittel zurückgehalten werden müsse. Diese Umstände sind es, die Viele sogar veranlassen, weit mehr zur Erhaltung jener Kapitalien aufzuopfern, als diese werth sind, Massregeln vorzuschlagen, die aus diesem Grunde auf jedem andern Gebiete als höchst unwirthschaftliche gelten würden †).

---

*) Vergl. z. B. Heiden: Lehrbuch der Düngerlehre Th. II. p. 193 u. 197. — Auch in Lehmann hat dieser einseitige Standpunkt wieder ganz neuerdings einen warmen Vertreter gefunden; vergl. Landw. Centralbl. 1870. I. p. 400.

**) Fast immer wird die Gewinnung der menschlichen Auswurfstoffe für die Landwirthschaft *als eine Art Pflicht* hingestellt, während die Vortheile einer solchen Gewinnung doch (abgesehen von deren gesundheitlichen Vorzügen) lediglich in der voraussichtlich grösseren Billigkeit der Systeme liegen, bei denen es möglich ist, einen Theil der Abfuhrkosten durch Verkauf der Auswurfstoffe zu decken.

***) Auch Liebig steht in seinen Ausführungen ganz auf dem physiokratischen Standpunkt, wie Au mit Recht hervorhebt. Siehe dessen Werk p. 518.

†) Als vereinzelte Beispiele für tausende mögen hier gelten die Warnungen des Berichterstatters des Jahresber. f. Agrik.-chemie, die Salze der Schlempekohle nicht in die

Wenn der Landwirth an vielen Orten den menschlichen Dünger verloren gibt, d. h. also so geringe Summen für denselben bietet, dass der Stadtbewohner für diese Summen nicht zu der Unbequemlichkeit (die ja doch ein negatives wirthschaftliches Gut ist) sich entschliesst, welche die Aufbewahrung der Excremente für die Landwirthschaft unter vielen Umständen mit sich bringt, so tritt an einem solchen Ort Kanalisation oder sonst ein System ein, bei welchem jene Stoffe für die Landwirthschaft grossentheils verloren gehen. An Orten dagegen, wo eine sehr intensive Kultur z. B. Tabaksbau herrscht, wird auf der andern Seite der menschliche Dünger von den Landwirthen so hoch bezahlt, dass der Stadtbewohner mit Freuden die Unbequemlichkeit der Aufbewahrung auf sich nimmt; unter diesen Umständen kommen also wenigstens die festen menschlichen Excremente der Landwirthschaft zu Gute — einfach desshalb, weil die Düngung mit denselben rentabel ist*). So veranlassen auch hier die immer wirkenden wirthschaftlichen Gesetze die Anwendung eines produktiven Kapitals an dem Ort, wo es am Meisten neue Güter hervorzubringen vermag, und das Düngerkapital dient in den beiden Fällen entweder bei der landwirthschaftlichen Produktion, oder (wenn es verloren geht) zur Bequemlichkeit der Stadtbewohner, — eine Ausdrucksweise, die trotz ihres etwas paradoxen Klangs nach dem Vorhergehenden leicht verstanden werden wird.

Selbstverständlich ist es dann ein wirthschaftlicher Missgriff, wenn man Stoffen, die wie die flüssigen Excremente allerdings ein geringes Düngerkapital in sich bergen, aber in der Regel bei ihrem Transport auf den Acker eine weit grössere Güterzerstörung verursachen, als sie neue Güter hervorzubringen fähig sind, wenn man solchen Stoffen durchaus die Rückkehr in die Felder, denen sie ursprünglich allerdings entnommen sind, ermöglichen will, wie Dies z. B. in für die meisten Verhältnisse sehr unpraktischer Weise durch das Mosselmann'sche**) Verfahren geschieht. Glücklicher Weise ist der Bauer im Allgemeinen praktisch genug, um sich dergleichen Stoffe, die seinem Beutel weit mehr nehmen, als sie seinen Acker zu bereichern fähig sind, nicht aufdrängen zu lassen.

Es thut natürlich der Wirksamkeit der hier hervorgehobenen wirthschaftlichen Gesetze keinen Eintrag, wenn hie und da die menschlichen Excremente, auch da, wo eine Düngung mit diesen Stoffen höchst rentabel gewesen wäre, keine Berücksichtigung von Seiten des Landwirths gefunden haben. Jene können ja erst in Kraft treten, wenn die Brauchbarkeit eines jeden Kapitals zu allen in's Spiel kommenden Produktionen in vollem Masse bekannt ist. Diese Brauchbarkeit der einzelnen Düngstoffe zur Produktion von Kulturgewächsen dem Landwirthe aufsuchen zu helfen, ist, wie wir heute schon hervorgehoben haben, eine der Aufgaben der

---

Technik gelangen zu lassen (vergl. 1861—62 p. 199), die analogen Ausführungen Rösler's (Annal. d. Oenologie I. p. 74), aus welchen der geringe nationalökonomische Sinn unserer Agrikulturchemiker hervorleuchtet.

*) Dies Verhalten ist z. B. deutlich nachgewiesen in der Umgegend von Mannheim vor und nach der bedeutenden Ausdehnung des Tabakbaues.

**) Mosselmann: Compt. rend. Vol. 56. p. 1261. Der nach diesem Verfahren dargestellte Urinkalk enthält nach der Knop'schen Analyse nur 0,08% Stickstoff, 0,01% Phosphorsäure auf etwa 44% Kalk. Vergl. Jahresber. f. Agrik.-chemie 1866. p. 257.

Agrikulturchemie; aber immer ist es nur die Rentabilität eines Düngers, die für dessen Brauchbarkeit entscheidet, niemals der durch ihn bewirkte Wiederersatz, und dass der geleistete Ersatz nur im einzelnen Fall und durch eine merkwürdige Zufälligkeit mit der Rentabilität eines Düngemittels zusammenfällt, dafür ist es wohl nicht nothwendig, weitere Belege zu bringen.

Nach genau denselben Principien lässt sich nun auch die natürliche *Wanderung des Düngerkapitals*, nicht bloss desjenigen Antheils, das in den transportirten Nahrungsmitteln enthalten ist, sondern auch des Antheils, das als natürlicher Dünger von einer Gegend in die andere verkauft wird, verstehen, und auf dieselben einfachen wirthschaftlichen Gesetze zurückführen. Auch hier wandert das Kapital wie überall an die Orte, wo es am Meisten produktionsfähig ist; und es ist ganz dieselbe wirthschaftliche Kurzsichtigkeit, die wir bereits kennen gelernt haben, in einem solchen Falle dem Exportirenden einen Vorwurf zu machen.

Die Wanderung von Knochen von Bayern*) nach Sachsen, von Deutschland nach England, die Wanderung des Stallmists vom Odenwald in die Rheinebene, von der Liebig spricht**), ist die Wanderung von landwirthschaftlichem Betriebskapital aus Gegenden, die eines intensiven Anbaus weniger fähig sind, in Gegenden, wo die Verhältnisse zur intensiven Bewirthschaftung drängen, und gerade in diesem Vorgange liegt eine weitere Bestätigung der bisher entwickelten Gesetze***). Eine Unterschätzung des Düngermaterials von Seiten der Exportirenden braucht dabei gar nicht vorhanden zu sein und ist wohl, wenigstens nach den Erfahrungen, die man alltäglich an den Landwirthen aller Gegenden macht, sehr selten vorhanden.

Ebenso wird die Tendenz zu einer Wanderung des Düngerkapitals in vielen Fällen eintreten müssen, wenn zwei Länder, die bisher vermöge ihrer Entfernung von einander und sonstiger Verhältnisse zu sehr verschiedenen Intensitätsgraden der Bewirthschaftung genöthigt waren, plötzlich durch erleichterte Verkehrsmittel (Bau von Eisenbahnen) einander gleichsam näher gerückt werden (was einer plötzlichen Verkürzung des Radius des Thünen'schen Staates entsprechen würde). Wie für eine solche Annahme die Bewirthschaftung der äussersten bisher extensiv bewirthschafteten Zonen wegen der geringeren Transportkosten eine intensivere, der inneren wegen Verminderung der Produktenpreise in Folge der erhöhten Concurrenz mit den äussern Zonen eine extensivere werden muss, also eine centrifugale Wanderung der landwirthschaftlichen Betriebskapitalien und der ackerbauenden Bevölkerung eintreten muss, so müsste Dies auch im Speziellen für das Düngerkapital gelten. Es würde desshalb durch Verbindung zweier solcher Länder vermittelst Eisenbahnen, eine den bisherigen Verhältnissen entsprechende Sättigung des Bodens mit Düngerkapital vorausgesetzt, eine Wanderung dieses Kapitals aus dem Lande mit dem bis dahin sehr

---

*) v. Liebig: Die Chemie i. i. A. u. s. w. 1862. I. p. 129. 130.

**) Ebendaselbst p. 301.

***) Dieselbe Anschauung auch bei Au: A. a. O. p. 369 u. ff.

intensiven Betrieb in das andere Land, das bis dahin nur extensiv bewirthschaftet werden konnte *) **), stattfinden müssen.

Wir kehren nach diesem kleinen Streifzuge zu unseren Betrachtungen zurück. Dieselben führen uns nothwendig zu einer ganz anderen Beurtheilung der Düngerwirthschaft verschiedener Nationen.

Dass Völker mit sehr extensivem Betrieb jährlich einen Theil des umlaufenden Düngerkapitals verloren geben, versteht sich zunächst nach den oben entwickelten Gesetzmässigkeiten von selbst. Aber auch die Düngerwirthschaft von Nationen, die durch ihre Verhältnisse zu dem weit intensiveren System des ungefähren Wiederersatzes gelangt sind, die dennoch einen grossen Bruchtheil ihres gesammten umlaufenden Düngerkapitals verloren geben und sich so zu dem Zukauf von Düngestoffen im grossartigsten Massstab gezwungen sehen, wird uns nach den angestellten Betrachtungen sehr verständlich werden.

England z. B. betreibt die ihm vorgeworfene sogenannte Verschwendung ***) von Düngestoffen einfach desshalb, weil ihm die Opfer, die es bei Aenderung der bestehenden Latrinensysteme in Systeme, die die vollständige Gewinnung der Excremente ermöglichten, die es ferner an Reinlichkeit, Bequemlichkeit, sowie an Geld bringen müsste, schwerer fallen, als der Kapitalaufwand, den es bei dem bestehenden Systeme für Peruguano und andere Düngestoffe zu machen sich gezwungen sieht — vorausgesetzt, dass diese Stoffe nicht eine grössere Mehrproduktion erzielen, als durch die verlorenen Dungstoffe erzielt worden wäre.

---

*) Eine solche Wanderung wäre also jetzt etwa zu erwarten von den Getreidefeldern der Rheingegenden nach Ungarn, findet aber in diesem speziellen Fall und ganz gewöhnlich desshalb nicht statt, weil die Länder mit dem extensiveren Betrieb trotz langjährigen Raubbaus Anfangs noch einen grossen Ueberschuss an Düngerkapital zu besitzen pflegen, weil in den Ländern, die den inneren Zonen des Thünen'schen Staates entsprechen, in solchen Fällen gewöhnlich eine vortheilhafte Anwendung des Düngerkapitals zu Handelsgewächsbau gefunden wird und endlich wegen der sehr geringen Transportfähigkeit der natürlichen Düngestoffe. Weit eher wird diese Wanderungstendenz in dem angezogenen Beispiel zu Tage treten durch Translocation anderer landwirthschaftlicher Betriebskapitalien und Auswanderung der ackerbauenden Bevölkerung in die bis dahin extensiv bewirthschafteten Gegenden.

**) Man wird in Erwägung der seither entwickelten Gesetzmässigkeiten auch leicht zu dem Gedanken kommen, dass die Wanderung des Düngerkapitals von Wald zu Feld, die uns in der Waldstreunutzung entgegentritt, auch die einfache Folge der vortheilhafteren Anwendung eines Düngerkapitals bei der Produktion von Pflanzengattungen sei, die überhaupt Verwendung von Kapital und Arbeit thatsächlich besser lohnen, und so in Versuchung kommen, im Gegensatz zu den jetzt herrchenden Anschauungen aus jenen theoretischen Gründen sich für die Waldstreunutzung zu entscheiden. Indessen scheinen bei dieser Frage noch andere Umstände in Betracht zu kommen. Es scheint nach dem gleichlautenden Urtheil vieler land- und forstwirthschaftlichen Autoritäten durch die Streunutzung dem Wald viel mehr an Produktionsfähigkeit genommen zu werden, als das Feld durch jene Operation hiervon erhält, mit anderen Worten, dem Düngerkapital, was in der Waldstreu enthalten ist, eine untergeordnete Wirkung gegenüber gewissen physikalischen Vortheilen, deren der Wald nicht entbehren kann, die für das Feld aber in anderer Weise beschafft werden können, zuzukommen.

***) J. v. Liebig: A. a. O. Einleitung in d. Naturges. p. 127 u. ff.

Auf der andern Seite sind China und Japan*) zu einer für civilisirtere Völker höchst unappetitlichen Düngerwirthschaft genöthigt, einfach desshalb, weil der Grad der Bevölkerung dieser Länder, die Unfähigkeit ihrer Bewohner, sich ihre Nahrung zu einem grösseren Theile durch Handel mit auswärtigen Nationen zu erwerben und endlich ganz besonders ihre naturwissenschaftliche Unwissenheit, die es unmöglich macht, Surrogate für die natürlichen Dungstoffe aufzufinden, zu der absoluten Erhaltung des in den Aeckern vorhandenen Düngerkapitals drängt.

Aber anstatt sich zu freuen darüber, dass unsere Kultur, unsere Kenntnisse uns jenen positiven Genuss erlauben, den die Benutzung eines englischen Water-closets gegenüber einem chinesischen Aborte bietet, den wir überdies zu einem so billigen Preis erkaufen, will man dort das Muster für unsere Düngerwirthschaft suchen und empfiehlt die abscheulichen Gebrauche eines wenigstens in seinen Sitten halbbarbarischen, tief unter uns stehenden Volkes als höchst erreichbares Ideal.

Aber, wird man fragen, liegt nicht dennoch in einer Düngerwirthschaft nach chinesischem Muster unsere einstige Zukunft? — Es kann kein Zweifel darüber bestehen, dass für ein jedes Land, dessen Bevölkerung keiner stetigen Verminderung unterliegt, eine Zeit kommen wird, in welcher der völlige Wiederersatz dringend geboten erscheint; denn selbst die durch Jahrhunderte währende stetige Einfuhr von Nahrungsmitteln wird nur andere Länder um so schneller der Nothwendigkeit eines solchen Wiederersatzes entgegenführen. Dieser wird nun aber, wie jetzt in England, während langer Zeiträume durch Düngemittel, wie sie sich an manchen Orten der Erdoberfläche in Form von Phosphoriten, Guanolagern, Kalisalzen etc. angehäuft vorfinden, bestritten werden können, und selbst wenn wir uns alle jene Stoffe verbraucht denken, wird jedenfalls ein Theil des Wiederersatzes durch Fischguano und ähnliche dem Meere abgewonnenen Stoffe, deren Menge wir in Folge der Verschleppung unserer Düngestoffe in's Meer als unerschöpflich ansehen müssen, geleistet werden können. Gleichzeitig werden aber auch die menschlichen Excremente eine Preissteigerung erfahren und in Folge davon werden sich Methoden, dieselben in appetitlicher Weise aufzufangen und dennoch der Landwirthschaft zukommen zu lassen, mehr und mehr als rentabel erweisen. Kurz es wird eine Entwickelung eintreten, wie sie häufig für die Anwendung von Betriebskapitalien und Rohmaterialien bei einer jeden wirthschaftlichen Produktion einzutreten pflegt, wenn die äusseren Verhältnisse des Zuflusses jener Produktionsfaktoren Abänderungen erleiden.

Jene Träumereien aber über die entsetzlichen Folgen des Raubbaus werden ohne dauernden Einfluss auf unsere Methoden der Düngung bleiben. Der praktische und rechnende Landwirth hat sich nie von denselben beirren lassen; dieser wird stets zu dem Dünger greifen, der ihm nach seiner — natürlich vielfach beschränkten — Einsicht den grössten Reinertrag verspricht.

Die Entwickelung der Ansichten der Theoretiker über das Thun und Lassen der Praktiker ist auch hier gewesen wie überall. — Die ersten Lehrsätze, welche die Theorie geben konnte, waren abgefasst nur mit Berücksichtigung einiger wenigen bei der landwirthschaftlichen Produktion mitwirkenden Umstände und enthielten neben grossartigen naturwissenschaftlichen Wahrheiten — die gröbsten wirthschaftliche

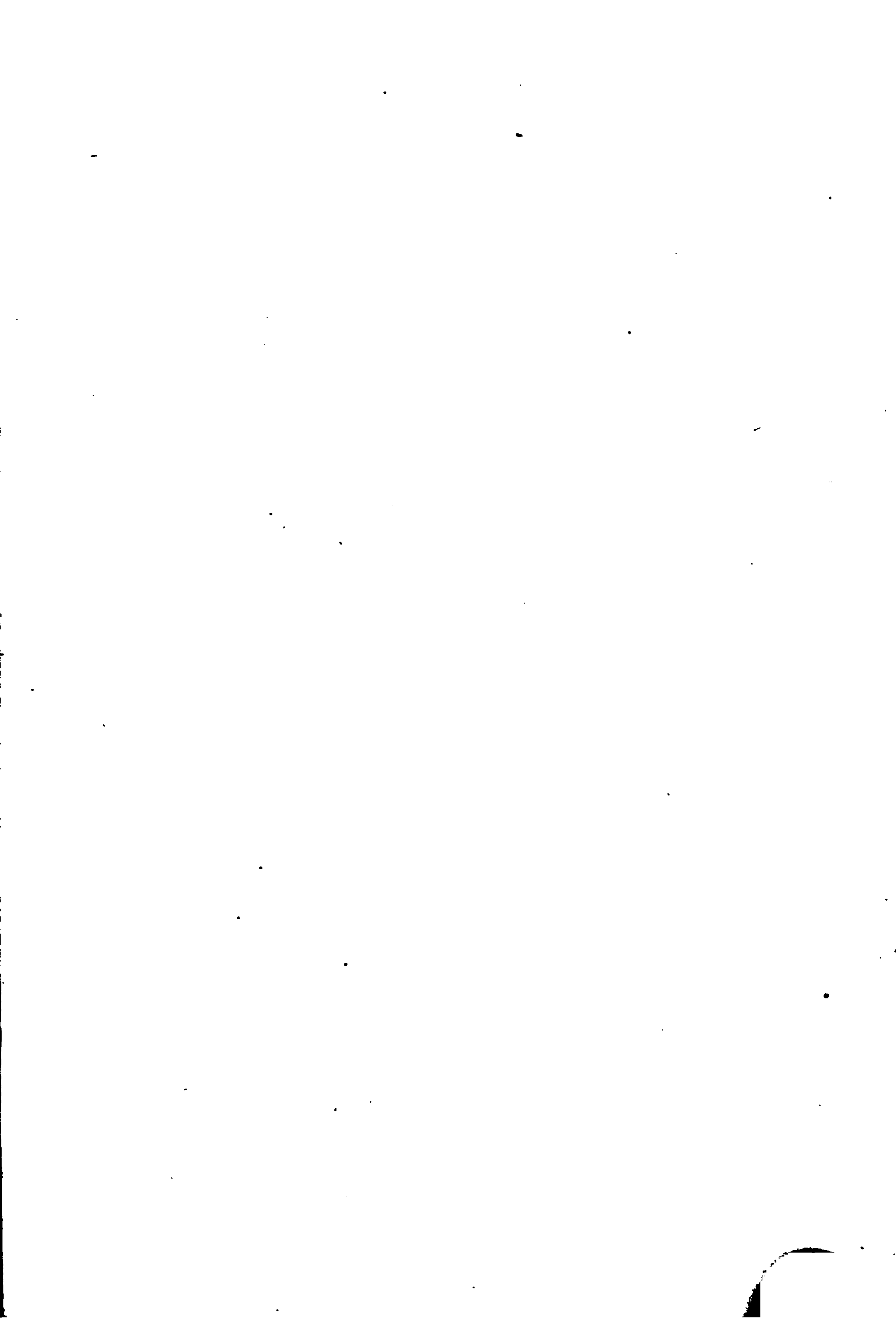
*) Ebendas. Th. I. p. 259.

Unwahrheiten. Dieselben waren nur im Stande, die Wissenschaft bei den wirklich tüchtigen Praktikern, die nicht die beschränkte Richtigkeit jener Sätze einzusehen fähig waren, wohl aber ihr Geschäft verstanden und die Unbrauchbarkeit jener Sätze für ihr Geschäft sofort erkannten, in Misscredit zu bringen, was die Theorie ihres anmassenden Auftretens wegen wohl verdient hatte, und die Meinung in ihnen zu befestigen, dass niemals von dem Theoretisiren Etwas für die Praxis zu erwarten sei.

In diesem Verhalten aber liegt ein beherzigenswerther Fingerzeig für die Theorie des Pflanzenbaus, wie überhaupt des ganzen landwirthschaftlichen Gewerbes, wenn sie nur wirklich ihre Aufgabe klar erkennt und es ihr aufrichtig darum zu thun ist, für die Praxis Etwas Erhebliches zu leisten. Dieselbe darf nicht hochmüthig vom Studirtische aus auf Grund einiger einseitigen wissenschaftlichen Sätze, so klar bewiesen diese immerhin sein mögen, ihre Lehren diktiren und über den Widerspruch der Praktiker, als den Ausfluss einer rohen Unwissenheit zur Tagesordnung übergehen, sie muss sich vielmehr bewüsst werden, dass um der Praxis dienen zu können, ein gründliches Studium aller der Umstände und Verhältnisse, die eben für die physische und wirthschaftliche Seite der landwirthschaftlichen Produktion in Betracht kommen, die allererste Voraussetzung ist, — sie wird desshalb nicht unwissenschaftlicher werden. — Die gründliche Durchbildung auf breiter wissenschaftlicher Basis und unbesorgt um die künstlich gezogenen Grenzen der einzelnen Disciplinen wird desshalb für den Agrikulturchemiker ein unabweisbares Erforderniss sein und bleiben müssen, und dieser wird, will er nicht dem praktischen Theil seiner Aufgabe völlig entsagen, den ächt deutschen Fehler meiden müssen, sich von dem Reiz wissenschaftlicher Detailforschungen verführen zu lassen und sich ganz in diese zu vergraben. Es kann der deutschen Wissenschaft, der schon längst vom Ausland die Palme grösster Gründlichkeit, Selbstaufopferung und Gewissenhaftigkeit zuerkannt worden ist, unmöglich zum Schaden gereichen, wenn sie diesen Vorzügen auch noch den der Freiheit von gelehrten Vorurtheilen namentlich allen praktischen Dingen gegenüber hinzufügt.

Ich kenne in dieser Beziehung kein einfacheres und treffenderes Wort — das in England selbstverständlich und unbedeutend gefunden werden mag, aber mit grosser Schärfe dieses ganze von mir beleuchtete Verhältniss von Theorie zur Praxis klar legt und die Wissenschaft, welche, der Praxis zu dienen, unternimmt, auf den richtigen Weg weist — als das von Way in einer agrikulturchemischen Abhandlung ausgesprochene. Dasselbe kann als passender Schluss unserer Betrachtungen dienen.

„In dem Uebergangszustande von Dunkelheit zu Licht, in welchem wir uns befinden, sollten wir uns davor hüten, unsere eben erst erworbenen Kenntnisse dazu zu benutzen, um über die Praxis den Stab zu brechen, anstatt dass wir die praktische Erfahrung als einen Zuwachs zu den von uns zu verwerthenden Thatsachen ansehen, aus welchen wir geduldig und Schritt für Schritt ein wissenschaftliches System aufbauen."





MAR 2 1883

DUE JUL 30 1917


Cabot Science
003379795
3 2044 091 930 065